



СИСТЕМИ УПРАВЛІННЯ, НАВІГАЦІЇ ТА ЗВ'ЯЗКУ

3 (39) ' 2016

Заснований
у 2007 році

Наукове періодичне видання,
в якому відображені результати
наукових досліджень з розробки та
удосконалення систем управління,
навігації та зв'язку у різних
проблемних галузях.

Засновник:
Полтавський національний технічний
університет імені Юрія Кондратюка

Адреса редакційної колегії:
Україна, 36011, м. Полтава,
Першотравневий проспект, 24

Телефон: +38 (066) 706-18-30
(консультації, прийом статей).

E-mail:
kozelnkova@ukr.net

Інформаційний сайт:
<http://www.pntu.edu.ua>

Реферативна інформація
зберігається: у загальнодержавній
реферативній базі даних
„Україніка наукова” та публікується
у відповідних тематичних серіях
УРЖ „Джерело”.

РЕДАКЦІЙНА КОЛЕГІЯ:

Голова:

КОЗЕЛКОВ Сергій Вікторович (д-р техн. наук, проф.)

Заступники голови:

ГАЛАЙ Василь Миколайович (канд. техн. наук, доц.)

ШУЛЬГА Олександр Васильович (д-р техн. наук, доц.)

Члени:

ІЛЮШКО Віктор Михайлович (д-р техн. наук, проф.)

ІЛЬІН Олег Юрійович (д-р техн. наук, проф.)

КАЛІННИКОВ Володимир Геннадійович (д-р фіз.-мат. наук, проф.)

КОРОБКО Богдан Олегович (канд. техн. наук, доц.)

КОШОВИЙ Микола Дмитрович (д-р техн. наук, проф.)

КРАСНОБАЄВ Віктор Анатолійович (д-р техн. наук, проф.)

КУЧУК Георгій Анатолійович (д-р техн. наук, проф.)

ЛАДАНЮК Анатолій Петрович (д-р техн. наук, проф.)

МАШКОВ Віктор Альбертович (д-р техн. наук, проф.)

МАШКОВ Олег Альбертович (д-р техн. наук, проф.)

МОРГУН Олександр Андрійович (д-р техн. наук, проф.)

МУРАВЛЬОВ Володимир В'ячеславович (канд. техн. наук, доц.)

ПЕШЕХОНОВ Володимир Григорович (академік РАН, д-р техн. наук, проф.)

СІЛЬВЕСТРОВ Антон Миколайович (д-р техн. наук, проф.)

СТАСЄВ Юрій Володимирович (д-р техн. наук, проф.)

СУХАНОВ Костянтин Георгійович (канд. техн. наук, с.н.с.)

ХРАЩЕВСЬКИЙ Рімвідас Вілімович (д-р техн. наук, проф.)

ХОРОШКО Володимир Олексійович (д-р техн. наук, проф.)

ЦАРЬОВ Віктор Михайлович (канд. техн. наук, с.н.с.)

ЧОРНИЙ Олексій Петрович (д-р техн. наук, проф.)

Відповідальний секретар:

КОЗЕЛКОВА Катерина Сергіївна (д-р техн. наук, проф.)

За достовірність викладених фактів, цитат та інших відомостей відповідальність несе автор

Журнал індексується наукометричною базою Google Scholar

*Затверджений до друку науково-технічною радою Полтавського національного технічного університету
імені Юрія Кондратюка (протокол № 14 від 21 жовтня 2016 року)*

*Занесений до "Переліку наукових фахових видань України, в яких можуть публікуватися результати
дисертаційних робіт на здобуття наукових ступенів доктора і кандидата наук", затвердженого наказом
Міністерства освіти і науки, молоді та спорту України від 25.01.2013 р., № 54*

Свідоцтво про державну реєстрацію КВ № 19512-93/2ГП від 16.11.2012 р.

З М І С Т

КОНТРОЛЬ КОСМІЧНОГО І ПОВІТРЯНОГО ПРОСТОРУ

<i>Мозилатенко А.С., Данилов Ю.А., Павленко М.А.</i> Обоснование направлений исследований по совершенствованию процесса обеспечения радиолокационной информацией региональных центров управления воздушным движением	3
<i>Зуев П.П.</i> Метод разрешения нештатных ситуаций в зоне ответственности объединения воздушных сил	12
<i>Шульга О.В.</i> Обґрунтування і вибір аналітичного методу розрахунку статистичних характеристик поля приймаючої хвилі при її трансіоносферному розповсюдженні	15

ПИТАННЯ УПРАВЛІННЯ В СКЛАДНИХ СИСТЕМАХ

<i>Даниленко А.Ф., Дьяков А.Г., Нечаусов С.Н.</i> Алгоритм позиционирования образца в ЯМР-спектрометре	17
<i>Захарченко Р.В.</i> Аналіз багатомірних систем за допомогою масиву відносних коефіцієнтів підсилення	20
<i>Кононов Б.Т., Нечаус А.А., Куравська Н.М., Галелюк Р.Б.</i> Експериментальні дослідження дугостаторного асинхронного електричного двигуна з короткозамкненим ротором	24
<i>Ліщенко В.М., Чалий В.В., Карлов А.Д.</i> Малорозмірні безпілотні літальні апарати як об'єкти радіолокаційної розвідки	27
<i>Петренко О.М.</i> Вибір оптимальних режимів роботи напівпровідникового перетворювача для живлення тягового асинхронного двигуна	33

МАТЕМАТИЧНІ МОДЕЛІ ТА МЕТОДИ

<i>Голян Н.В., Голян В.В., Самофалов Л.Д.</i> Алгебра понятий как формальный аппарат моделирования действий интеллекта над понятиями	38
<i>Лавровская Т.В., Рассомахин С.Г.</i> Математический метод декодирования псевдослучайных кодов на основе модифицированного метода ветвей и границ	42
<i>Нечипоренко А.С.</i> Математическая модель движения воздушного потока через носовую полость человека	57
<i>Khlud O.M., Pankratov A.V., Romanova T.Ye.</i> Packing of approximated ellipsoids	62
<i>Шабанов-Кушнарченко С.Ю., Шабанова-Кушнарченко Л.В.</i> О предикатной формализации кванторов	67

ІНФОРМАЦІЙНІ ТЕХНОЛОГІЇ

<i>Василенко Д.Е.</i> Разработка метода пополнения и контроля корректности структур знаний открытой экспертной системы реального времени	71
<i>Косенко В.В., Артюх Р.В.</i> Управління розподілом трафіка в інформаційно-телекомунікаційних мережах на основі принципу декомпозиції	77
<i>Обод І.І., Черних О.П., Мальцев О.С., Майстренко Г.В.</i> Адаптивне управління зоною обслуговування рухомих інформаційно-комунікаційних систем	80
<i>Олізаренко С.А., Лавров О.Ю.</i> Розробка пропозицій з перерахунку піксельних координат простого об'єкта повітряної розвідки на цифровому аерофотознімку в геодезичні координати	83
<i>Сальніков О.М., Іохов О.Ю., Оленченко В.Т.</i> Проблеми використання відкритого програмного забезпечення у відомчій інформаційно-телекомунікаційній мережі НГУ	87
<i>Свистунов Ю.Д.</i> Побудова концептуальної моделі інтеграції веб-сервісів з метою забезпечення гарантованої якості обслуговування	92
<i>Семенов С.Г., Березюк І.А.</i> Відновлення семантики службового повідомлення в задачі стеганоаналізу	99
<i>Туркіна В.В.</i> Імітаційне моделювання розрахунку довіри та репутації в соціальній мережі	102
<i>Чала Л.Е., Свид І.В.</i> Критерії та показники ефективності інформаційних технологій обробки даних систем спостереження повітряного простору	107
<i>Чутрина А.С., Пакін В.В.</i> Исследование методов ускоренной обработки и передачи больших данных между клиентом и сервером	110
<i>Шевяков Ю.І.</i> Метод прогнозування кількості обсягів метрологічного обслуговування військових засобів вимірювальної техніки на основі удосконалених багатофакторних регресійних моделей	114
<i>Шостак І.В., Павленко В.Н., Собчак А.П., Попова О.И.</i> Информационная технология автоматизации технологической подготовки виртуального производства предприятия	118

ЗАПОБІГАННЯ ТА ЛІКВІДАЦІЯ НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЙ

<i>Сукач С.В., Гусєв В.М., Левківський Р.М.</i> Дослідження динаміки аероіонного складу повітря навчальних приміщень	126
<i>Теут В.М.</i> Аналіз фізико-хімічних властивостей нафти і нафтопродуктів що впливають на водне середовище при розливі в морських акваторіях: постановка завдання і шляхи його рішення	129
<i>Триснюк В.М., Атрасевич О.В.</i> Оцінка екологічної ситуації ураженості ерозійними процесами дністровського каньйону	132
<i>Можжаєв А.А., Можжаєв М.А., Логвиненко М.А., Наем Хазим Рахим.</i> Использование технологии MIMO в геoinформационных системах экологического мониторинга	135

ЗВ'ЯЗОК

<i>Животовський Р.М.</i> Удосконалена методика адаптивного управління параметрами сигналу для безпілотних авіаційних комплексів	140
<i>Жук О.Г.</i> Методика адаптивного управління радіочастотним ресурсом систем військового радіозв'язку в умовах впливу навмисних завад	146

АЛФАВІТНИЙ ПОКАЖЧИК	154
----------------------------------	-----

Контроль космического і повітряного простору

УДК 681.51:623.592

А.С. Могилатенко¹, Ю.А. Данилов², М.А. Павленко²

¹ *Воинская часть А0593, Никополь*

² *Командование Воздушных Сил Вооруженных Сил Украины, Винница*

³ *Харьковский университет Воздушных Сил имени Ивана Кожедуба, Харьков*

ОБОСНОВАНИЕ НАПРАВЛЕНИЙ ИССЛЕДОВАНИЙ ПО СОВЕРШЕНСТВОВАНИЮ ПРОЦЕССА ОБЕСПЕЧЕНИЯ РАДИОЛОКАЦИОННОЙ ИНФОРМАЦИЕЙ РЕГИОНАЛЬНЫХ ЦЕНТРОВ УПРАВЛЕНИЯ ВОЗДУШНЫМ ДВИЖЕНИЕМ

Необходимость практического решения задачи обеспечения регионального центра воздушного движения радиолокационной информацией с требуемой полнотой и точностью и недостаточная развитость теоретической базы для ее решения, обуславливают актуальность научной задачи разработки метода формирования и выдачи сообщений о воздушных объектах от источников радиолокационной информации на региональный центр управления воздушным движением, адаптивного к изменениям производительности источников радиолокационной информации и пропускной способности каналов передачи данных

Ключевые слова: анализ, обработка, управление, информация.

Анализ содержания процесса обеспечения радиолокационной информацией региональных центров управления воздушным движением

Необходимым условием решения задач управления на центрах управления воздушным движением (ЦУВД) является наличие радиолокационной информации (РЛИ) о воздушных объектах (ВО). Обеспечение радиолокационной информацией центров управления воздушным движением является одной из функций АСУ центров управления воздушным движением и представляет собой совокупность взаимосвязанных мероприятий по выявлению, сбору, обработке, анализу и выдаче данных о воздушных объектах от источников радиолокационной информации на центры управления воздушным движением.

Под радиолокационной информацией о воздушных объектах в АСУ понимают набор сведений в виде формализованных сообщений о воздушных объектах, добытых в ходе радиолокационной разведки средствами активной и пассивной локации. Сообщение о воздушных объектах состоит из информационных элементов, которые представляют собой блоки данных в двоичном виде со смысловым содержанием, определенным руководящими документами:

номер, местоположение и время обнаружения воздушных объектов;

признак опознавания государственной принадлежности;

высота, состав (глубина и ширина сгруппированных целей), тип воздушных объектов;

признаки маневра по курсу, высоте и скорости; признаки применения помех и др.

Сообщения о воздушных объектах формируются и выдаются источниками радиолокационной информации.

Можно выделить ряд топологических особенностей подсистемы обеспечения радиолокационной информацией ЦУВД:

1. Подсистема обеспечения радиолокационной информацией регионального центра управления воздушным движением имеет сложную структуру и информация о ВО от источников радиолокационной информации может поступать на региональный центр управления воздушным движением через несколько звеньев управления.

2. Основными направлениями выдачи радиолокационной информации являются направления по вертикали управления, т.е. между подчиненными и вышестоящими ЦУВД. Вместе с тем, наличие информационных связей между ЦУВД одного уровня иерархии в АСУ регионального ЦУВД позволяет организовать выдачу радиолокационной информации по обходным маршрутам для повышения живучести рассматриваемой подсистемы.

3. Наличие территориально разнесенных источников и потребителей радиолокационной информации в АСУ регионального ЦУВД обуславливает необходимость использования протяженных каналов передачи данных. Такие каналы передачи

данных представляют собой сложные и дорогостоящие сооружения, что определяет актуальность задачи эффективного их использования.

Перечисленные особенности подсистемы обеспечения радиолокационной информацией регионального ЦУВД определяют порядок решения задач этой подсистемой. К таким задачам относятся: радиолокационное наблюдение за воздушным пространством, сбор, обработка и анализ радиолокационной информации, формирование и выдача сообщений о ВО потребителям. Проведем анализ этих задач.

Радиолокационное наблюдение в районе ответственности ЦУВД и на подступах к нему основано на определенном порядке размещения радиолокационных средств для создания сплошного радиолокационного поля с целью своевременного обнаружения, опознавания, распознавания и непрерывного сопровождения ВО. Особенности решения последующих задач процесса обеспечения радиолокационной информацией ЦУВД обусловлены принципами радиолокационного наблюдения:

циклический принцип обзора воздушного пространства радиолокационными средствами [1] определяет дискретный характер обновления, обработки и выдачи радиолокационной информации потребителям;

принцип перекрытия зон обнаружения РЛС для обеспечения надежного радиолокационного наблюдения приводит к дублированию радиолокационной информации, что требует устранения избыточности данных о ВО [7-10,16];

принципы радиолокации обуславливают наличие ошибок измерения координат ВО, что требует учета точности радиолокационной информации при ее обработке [1].

С учетом перечисленных особенностей решается задача сбора РЛИ, которая состоит в сосредоточенном и целенаправленном отборе необходимых данных о ВО на соответствующих ЦУВД. При этом осуществляется управление процессом сбора, состоящее в выборе источников и регулировании поступающих от них потоков РЛИ, исходя из поставленных задач, условий обстановки, состава данных, выдаваемых этими источниками. Под потоком РЛИ понимают движение данных в канале передачи данных в виде сообщений о ВО с определенной скоростью, называемой плотностью потока [2].

Особое внимание при сборе РЛИ обращается на перегрузки в звеньях управления АСУ. Перегрузки представляют собой ситуации, когда входной поток РЛИ не может быть полностью обработан на ЦУВД и выдан потребителям с установленной дискретностью, т.е. установленным интервалом времени между соседними сообщениями об одном ВО. Это может быть вызвано ограниченной производи-

тельностью АСУ и недостаточной пропускной способностью каналов передачи данных по причинам их радиоэлектронного подавления, а также увеличения плотности потока сообщений о ВО. При этом пропускная способность определяет максимально возможную скорость передачи данных по каналу, а производительность источника РЛИ определяет количество информации о ВО, выдаваемое в единицу времени, и может быть рассчитана по формуле:

$$G = \frac{n \cdot L}{T} = n \cdot \left(\sum_{i=1}^k l_i + s \right) / T, \quad (1)$$

где G – производительность источника РЛИ, бит/с; n – количество ВО, по которым выдаются сообщения от источника РЛИ; L – размер сообщения о ВО, бит; T – период обновления информации о ВО, с; k – количество информационных элементов в сообщении о ВО; l_i – размер i -го информационного элемента, бит; s – количество служебной информации и неиспользуемых разрядов, бит.

Пропускная способность может быть определена по формуле Шеннона [3]:

$$C = F \cdot \log_2 (1 + P_c / P_{ш}), \quad (2)$$

где C – пропускная способность канала передачи данных, бит/с; F – ширина полосы пропускания канала, Гц; P_c , $P_{ш}$ – мощность сигнала и мощность шума соответственно, Вт.

Пропускная способность в формуле (2) определяет лишь теоретически достижимое максимальное значение скорости передачи данных. Поэтому в дальнейшем под пропускной способностью канала будем понимать максимальную реализуемую скорость передачи данных при заданной вероятности ошибки бита и обозначать символом C . Вместе с тем, зависимость (2) позволяет определить пути повышения максимально реализуемой скорости передачи данных в канале.

Таким образом, причины перегрузок в звеньях сбора РЛИ могут привести к превышению производительности источников РЛИ над пропускной способностью каналов передачи данных. При таком рассогласовании между производительностью источников и пропускной способностью каналов передачи данных обеспечиваемые ЦУВД будут получать РЛИ не в полном объеме, что влияет на качество решения задач обработки и анализа РЛИ на этих ЦУВД.

Обработка РЛИ включает проверку достоверности добытых сведений, формирование трасс полета целей, отождествление и сопоставление информации от нескольких источников. При этом важна точность РЛИ [4], которая характеризует расхождение между фактическими и отображаемыми значениями координат ВО. В качестве показателя точности используют среднеквадратическую ошибку координат (с.к.о.) ВО:

$$\sigma_{xy} = \sqrt{\frac{1}{n} \cdot \sum_{i=1}^n \delta_i^2}, \quad (3)$$

где δ_i – расстояние между истинным и i -м измеренным положением ВО

После обработки РЛИ на ЦУВД осуществляют анализ полученной информации, который включает критическое осмысливание, логическое сопоставление и обобщение имеющихся сведений для повышения их достоверности и выявления обобщенной информации.

Одной из наиболее важных характеристик, влияющих на результаты анализа РЛИ, является полнота обеспечения РЛИ.

Полнота обеспечения РЛИ характеризует отношение числа ВО, по которым выдается РЛИ с требуемым качеством к общему числу действующих ВО. Она зависит от производительности звеньев сбора, обработки и передачи РЛИ и уменьшается при рассогласовании между производительностью источников радиолокационной информации и пропускной способностью каналов передачи данных.

После обработки и анализа собранной радиолокационной информации формируются сообщения о ВО и осуществляется их выдача потребителям в соответствии с установленным порядком. Формирование сообщения о ВО заключается в определении состава информационных элементов и присвоении им определенных значений. Непосредственно выдача и прием сообщений о ВО между ЦУВД в АСУ регионального ЦУВД осуществляется с помощью системы передачи данных (СПД), которая объединяет аппаратуру передачи данных (АПД) источников и потребителей радиолокационной информацией с помощью каналов передачи данных. Используемая в АСУ регионального ЦУВД СПД базируется на первичной сети связи, которая морально устарела (только 30% средств связи можно считать современными) и обладает низкой структурной живучестью.

Таким образом, из проведенного анализа содержания процесса обеспечения радиолокационной информацией региональных ЦУВД можно выделить ряд его особенностей:

1. Резкое возрастание плотности информационного потока сообщений о ВО по каналам передачи данных.

2. Уменьшение количества стационарных ЦУВД, узлов связи и каналов передачи данных в результате их подавления.

3. Снижение пропускной способности радиоканалов передачи данных или выход их из строя в результате РЭП.

4. Увеличение плотности потока сообщений о ВО на обходных маршрутах за счет дополнительной радиолокационной информацией от взаимодействующих источников.

5. Моральное старение и низкая структурная живучесть первичной сети связи, на которой базируется СПД в АСУ регионального ЦУВД.

Указанные особенности могут привести к рассогласованию между производительностью источников РЛИ и пропускной способностью каналов передачи данных.

Для устранения такого рассогласования между производительностью источника РЛИ и пропускной способностью канала передачи данных можно использовать ряд методов, применяемых в АСУ региональных ЦУВД и в современных СПД [3]. Проведем анализ существующих методов согласования производительности источников РЛИ с пропускной способностью каналов передачи данных

Анализ существующих методов согласования производительности источника радиолокационной информацией с пропускной способностью канала передачи данных

Проведем анализ методов согласования производительности источников РЛИ с пропускной способностью каналов передачи данных в существующих АСУ регионального ЦУВД.

АСУ «Луч-1». Основными источниками РЛИ в АСУ «Луч-1» являются КСА «Межа», КСА «Низина-Н». Эти КСА обладают низкими возможностями по сопровождению ВО и выдаче РЛИ: 50 ВО с $T=10$ с. у КСА «Межа» и 10 ВО с $T=10$ с. у КСА «Низина-Н». Сообщения о ВО у обоих источников имеют фиксированный размер и состав информационных элементов.

В случае превышения количества ВО, действующих в зоне информации над информационными возможностями КСА, в АСУ «Луч-1» применяется метод селекции ВО: ЦУВД принимает от регионального ЦУВД распоряжения о снятии с сопровождения указанных ВО. Вместе с тем, применение метода селекции ВО может вносить искажения в реальную картину воздушной обстановки, так как не все ВО выдаются потребителю. Таким образом, селекция ВО для их выдачи снижает полноту обеспечения РЛИ потребителя.

При выходе из строя каналов передачи данных по причине подавления источники РЛИ в АСУ «Луч-1» переходят на запасные каналы передачи данных. Вместе с тем, учитывая интенсивное подавление СПД, применение запасных каналов передачи данных, использующих тот же маршрут передачи данных, может оказаться практически невозможным.

АСУ «Луч-2». Основными источниками РЛИ в АСУ регионального ЦУВД «Луч-2» являются КСА «Межа-М», обеспечивающим выдачу 50 ВО с $T=10$ с,

и КСА «Низина-У», забезпечуючим видачу 20 ВО с $T = 10$ с.. Для усунення расогласования производительности этих источников РЛИ и пропускной способности каналов передачи данных применяются те же методы, что и в АСУ «Луч-1». При этом, в КСА "Низина-У" имеется возможность увеличить дискретность выдачи сообщений по ВО до 20 с. Однако дискретность обновления РЛИ оказывает влияние на ее точность, так как за время интервала между соседними сообщениями местоположение ВО может существенно измениться. Увеличение дискретности выдачи координат приводит к увеличению разрывов трасс и даже к сбросу ВО с сопровождения.

В качестве дополнительных источников РЛИ в АСУ «Луч-2» используются взаимодействующие ЦУВД, оснащенные КСА «Протон-2» и КСА «Алмаз-2». При передаче РЛИ по низкоскоростному телеграфному каналу оба источника группируют ВО (до 15 групповых ВО) с одновременным увеличением дискретности выдачи сообщений о ВО до 2 минут. При этом допускается организация дополнительного канала передачи данных.

Суть метода группирования заключается в объединении нескольких ВО, попадающих в заданный пространственный строб и отвечающих дополнительным условиям, в один сгруппированный ВО с координатами головного ВО, размещенного в середине переднего фронта стога. При этом РЛИ выдается по групповому ВО с указанием стога группирования и количества сгруппированных в нем ВО. Размеры стога группирования по фронту и глубине могут изменяться от 40×40 км до 100×200 км.

Из содержания метода группирования видно, что пригруппирование ВО приводит к снижению точности траекторной информации по ним, так как за координаты, скорость и курс пригруппированных ВО принимаются соответствующие значения головного ВО. Это приводит к увеличению времени поиска таких ВО.

Все источники РЛИ в АСУ «Луч-3» выдают сообщения о ВО с фиксированным размером и составом информационных элементов. В случае выхода из строя каналов передачи данных источники РЛИ переходят на запасные каналы, однако такая возможность ограничена интенсивным огнем подавлением СПД в современных условиях боевых действий.

АСУ «Луч-3». В качестве источников РЛИ в АСУ «Луч-3» могут использоваться те же основные источники, что и в «Луч-2» а также ряд новых источников с фиксированным размером и составом сообщений о ВО, которые используют специальные протоколы для согласования производительности этих источников с пропускной способностью каналов передачи данных. Так КСА «Поле» выдает на региональный ЦУВД 1 раз за 20 с. кодограмму о

загрузке (количество сопровождаемых ВО). Эта информация анализируется на ЦУВД и при приближении загрузки к максимальной решается задача о разгрузке КСА. ЦУВД разгружаются выдачей на них разрешений не сопровождать указанные ВО. Аналогичным образом разгружается КСА «Основа» - он может получать от регионального ЦУВД, оснащенного КСА «Нива» распоряжения по сопровождаемому ВО «Цель соседа», которые воспринимаются как разрешение на сброс ВО при перегрузке.

Как указывалось ранее, такое ограничение потока выдаваемых сообщений о ВО приводит к уменьшению полноты обеспечения РЛИ потребителя, что искажает реальную картину воздушной обстановки.

При недостаточной пропускной способности каналов передачи данных в КСА «Основа», «Нива», «Протон-2М», «Алмаз-4» осуществляется группирование ВО, однако метод группирования снижает точность РЛИ по пригруппированным ВО, а принятые размеры стогов группирования не позволяют использовать РЛИ по пригруппированным ВО для выдачи боевой информации огневым средствам.

При выходе из строя каналов передачи данных источники РЛИ переходят на запасные каналы, что может быть не реализуемо по причине интенсивного огневого подавления СПД.

АСУ «Пирамида». В качестве источников РЛИ в АСУ «Пирамида» [50] могут использоваться те же основные источники, что и в АСУ «Луч-3» а также ряд новых источников:

КСА «Основа-1», с выдачей РЛИ о 120 ВО за 10 с;

КСА «Протон-2М-1», с такими же информационными способностями как у «Протон-2»;

КСА «Универсал»;

КСА «Поляна-Д4», с выдачей РЛИ о 80 ВО за 10 с;

АСУ «Пирамида» является дальнейшим развитием АСУ «Луч-3» за счет модернизации различных звеньев комплексов технических средств, программного и математического обеспечения. Принципы согласования производительности источников РЛИ с пропускной способностью каналов передачи данных в АСУ «Пирамида» аналогичны используемому в АСУ «Луч-3», что также приводит к снижению полноты и точности обеспечения РЛИ потребителей.

АСУ «Бор-1». АСУ региональной ЦУВД республики Беларусь создана на основе объединения локальных вычислительных сетей (ЛВС) отдельных ЦУВД. Она способна осуществлять сбор и отображение РЛИ, выбирать оптимальный вариант их распределения. При этом обмен данными между этими ЛВС осуществляется с помощью стационарной сети передачи данных АСУ. Эта сеть передачи данных базируется на использовании протокола пе-

редачи данных с коммутацией пакетов по стандарту X.25. Следовательно, основным методом устранения рассогласования производительности источника РЛИ и пропускной способности канала передачи данных в АСУ «Бор-1» является использование различных маршрутов передачи РЛИ, т.е. маршрутизация. Вместе с тем, использование маршрутизации при передаче РЛИ требует учета загрузки обходных маршрутов, так как передача по ним транзитной информации большого объема может привести к перегрузкам каналов передачи данных.

АСУ регионального ЦУВД нового поколения «Бор-1» создана на основе объединения ЛВС отдельных ЦУВД с использованием технологии взаимодействия открытых систем. Такая технология подразумевает независимость используемых типов аппаратуры передачи данных (АПД) (модем) и протоколов передачи информации от конкретной реализации КСА ЦУВД. Это позволяет использовать различные методы сжатия данных при их передаче для согласования производительности источника РЛИ с пропускной способностью канала передачи данных. При этом, под сжатием данных понимают представление данных меньшим числом битов по сравнению с первоначальным [2, 7].

Известные методы сжатия направлены на снижение избыточности, вызванной как неравной априорной вероятностью значений информационных элементов в потоке данных, так и зависимостью между значениями последовательных информационных элементов. Эффективность методов сжатия оценивают коэффициентом сжатия, который равен отношению первоначального объема данных к объему сжатых данных. При этом сжатие бывает с потерями и без потерь. Потери допустимы при сжатии (и восстановлении) некоторых специфических видов данных, таких как видео и аудиоинформация. Если восстановленные данные совпадают с данными, которые были до сжатия, то говорят о сжатии без потерь. Именно такого рода методы сжатия применяются при передаче информации в СПД [5].

На сегодняшний день существует множество методов сжатия данных без потерь, подразделяющихся на несколько основных групп [5]:

- методы кодирования повторов;
- вероятностные методы сжатия;
- арифметические методы сжатия;
- словарные методы сжатия.

Принцип кодирования повторов является наиболее простым и применяется в основном для сжатия графических файлов. Один из вариантов данного подхода предусматривает замену последовательности повторяющихся символов на строку, содержащую этот символ, и число, соответствующее количеству его повторений. Поток выдаваемой РЛИ от источника не обладает свойствами повторяемости

значений в последовательных информационных элементах, что обусловлено их разнородной семантической интерпретацией. Поэтому кодирование повторов для сжатия РЛИ будет неэффективным.

В основе вероятностного сжатия лежат идеи методов эффективного кодирования Шеннона-Фано и Хаффмена [6], где каждому значению информационного элемента присваивается код, длина которого обратно пропорциональна частоте появления этого значения. Вместе с тем, получить распределение вероятностей значений информационных элементов в сообщениях о ВО не удастся ввиду того, что на случайный характер их изменения влияют причины нестохастической природы.

При использовании арифметического кодирования строка информационных элементов заменяется действительным числом больше нуля и меньше единицы. Арифметическое кодирование позволяет обеспечить высокий коэффициент сжатия в тех случаях, когда сжимаются данные, где частота появления различных информационных элементов сильно варьируется [5, 6]. Такие случаи не характерны для потока РЛИ, и процедура арифметического кодирования может не обеспечить согласования производительности источника РЛИ с пропускной способностью канала передачи данных.

В основе метода словарей [5] лежит идея замены наиболее часто встречающихся кодовых последовательностей в передаваемом потоке ссылками на «образцы», хранящиеся в специально создаваемой таблице (словаре). Чем больше размер анализируемой кодовой последовательности информационных элементов, тем выше эффективность сжатия словарных методов. Вместе с тем, сообщения о ВО имеют ограниченный размер, определяемый составом необходимых сведений о ВО, что может не обеспечить согласования производительности источника РЛИ с пропускной способностью канала передачи данных при использовании словарных методов сжатия.

АСУ ACCS. Принципы организации обеспечения потребителей РЛИ в АСУ в Европе «ACCS» отличаются от используемых в ранее рассмотренных АСУ ЦУВД. Применение сетевых технологий построения АСУ «ACCS» позволяет организовать ЦУВД на базе локальных вычислительных сетей различной топологии. Взаимодействие между этими ЦУВД осуществляется за счет их объединения в глобальную сеть с несколькими уровнями иерархии.

Для уменьшения избыточности циркулирующей РЛИ в такой АСУ используются два подхода. Первый подход направлен на ограничение потоков выдаваемой РЛИ между уровнями иерархии за счет отбора релевантной информации по направлениям выдачи с помощью специальных буферов. Второй подход заключается в отборе потребителями только той информации из потока РЛИ, которая им необходима.

В случае возникновения перегрузок каналов передачи данных в АСУ «АССС» используется маршрутизация выдаваемых сообщений о ВО и сжатие данных. При этом сообщения о ВО стандартизированы по составу РЛИ и размеру -320 бит. При выходе из строя каналов передачи данных источники РЛИ в АСУ «АССС» переходят на запасные каналы передачи данных. Анализ данных методов проведен в рассмотренных выше АСУ ЦУВД.

Рассмотренные АСУ ЦУВД можно условно разделить по времени их создания на АСУ старого поколения и нового. АСУ старого поколения «Луч-1(2,3)» и «Пирамида» были разработаны в 70...80-х годах, и особенностью их является строгое ограничение на количество и типы КСА, входящих в состав АСУ, а также строго определенные типы АПД и протоколы для обмена информацией между конкретными КСА. Поэтому АСУ регионального ЦУВД старого поколения представляет собой закрытую распределенную систему, для которой добавление заранее не предусмотренных элементов требует изменения аппаратного или программного обеспечения существующих элементов этой системы.

Таким образом, существующие методы согласования производительности источника РЛИ с пропускной способностью канала передачи данных можно разделить на две группы по принципу согласования:

1) методы, направленные на увеличение или восстановление пропускной способности С- будем называть их канальными методами:

выделение дополнительных каналов передачи данных;

использование запасных каналов передачи данных;

маршрутизация сообщений о ВО;

2) методы, направленные на уменьшение производительности источников РЛИ G- будем называть их информационными методами:

группирование (укрупнение) ВО;

селекция (отбор) ВО для их выдачи;

увеличение дискретности выдачи РЛИ для всех ВО;

сжатие данных.

Вместе с тем, применение канальных методов, связанных с использованием дополнительных или запасных каналов передачи данных может оказаться практически невозможным, ввиду интенсивного подавления СПД. Поэтому в дальнейших исследованиях эти методы рассматриваться не будут.

Из содержания методов группирования, селекции и увеличения дискретности выдачи РЛИ видно, что их применение вносит искажения в реальную картину воздушной обстановки и приводит к снижению полноты и точности обеспечения РЛИ потребителя.

Применение существующих методов сжатия данных для уменьшения плотности потока РЛИ на 33,3% (что приведет к согласованию между производительностью источника РЛИ, увеличенной на 50%, и пропускной способностью канала ПД) требует достижения коэффициента сжатия $K_{сж} > 1,5$, иначе их применение снижает полноту обеспечения РЛИ регионального ЦУВД. При этом необходимо оценить возможность такого сжатия, так как поток РЛИ, как показано ранее, не обладает необходимыми свойствами для приемлемого сжатия существующими методами.

Таким образом, в связи с указанными недостатками существующих методов согласования производительности источников РЛИ с пропускной способностью каналов передачи данных, необходимо провести оценку требуемой полноты и точности обеспечения РЛИ регионального ЦУВД и влияния методов увеличения дискретности выдачи РЛИ, группирования и селекции ВО, а также существующих методов сжатия данных на указанные характеристики качества обеспечения РЛИ регионального ЦУВД.

Оценка полноты и точности обеспечения радиолокационной информацией регионального центра управления воздушным движением

Самые высокие требования к качеству РЛИ на региональном ЦУВД предъявляются при ее выдаче на активные средства. Поэтому определим требуемую точность и полноту обеспечения РЛИ регионального ЦУВД для выдачи целеуказания на ЦУВД.

Требования к точности обеспечения РЛИ. От точности выдачи РЛИ зависит вероятность бесплодного обнаружения целеуказания ЦУВД:

$$P_{ЦУ} = \Phi\left(\frac{0,5 \cdot R_D}{\sigma_D}\right) \cdot \Phi\left(\frac{0,5 \cdot R_\beta}{\sigma_\beta}\right) \cdot \Phi\left(\frac{0,5 \cdot R_\epsilon}{\sigma_\epsilon}\right), \quad (4)$$

где Φ – интеграл вероятности, неприведенная функция распределения; R_D , R_β , R_ϵ – размеры просматриваемого на индикаторах ЦУВД пространства по дальности, азимуту и углу места соответственно; σ_D , σ_β , σ_ϵ – с.к.о. РЛИ по дальности, азимуту и углу места.

Предполагая, что ошибки целеуказания в основном определяются ошибками по азимуту и углу места и они одинаковы, из выражения (4) получаем:

$$\sigma_\beta = \sigma_\epsilon = \sqrt{\sigma_{\beta би}^2 + \sigma_{\beta сир}^2} \leq \frac{0,5 \cdot R_{\beta(\epsilon)}}{\Phi^{-1} \cdot \sqrt{P_{ЦУ}}}, \quad (5)$$

где $\sigma_{\beta би}$, $\sigma_{\beta сир}$ – с.к.о. выдачи РЛИ и определения координат ЦУВД; Φ^{-1} – обратная неприведенная функция распределения.

Требования к полноте обеспечения РЛИ. В качестве показателя полноты обеспечения РЛИ потребителей в АСУ ЦУВД используют коэффициент проводки трасс $K_{пр}$:

$$K_{пр} = \frac{N_B}{N_B + N_{НВ}} = 1 - \frac{N_{НВ}}{N_B + N_{НВ}}, \quad (6)$$

где N_B – количество ВО, по которым выдается РЛИ с требуемым качеством; $N_{НВ}$ – количество действующих ВО, по которым не выдается РЛИ.

Оценим соответствие полученным требованиям к точности и полноте обеспечения РЛИ региональное ЦУВД при использовании информационных методов согласования пропускной способности каналов передачи данных с производительностью источников РЛИ.

Оценим влияние увеличения дискретности выдачи РЛИ на ее точность при обеспечении РЛИ региональное ЦУВД. Существующие КСА, выступающие в качестве основных источников РЛИ, обеспечивают региональное ЦУВД РЛИ с требуемой точностью $\sigma_{xy} \leq 1000$ м при дискретности выдачи РЛИ $T=10$ с. Такая дискретность определяется периодом обзора пространства первичными источниками - РЛС. Поэтому одновременное увеличение дискретности выдачи РЛИ потребителям по всем ВО эквивалентно выдаче РЛИ от ЦУВД источника не в каждом периоде ее обновления от подчиненных источников, а в каждом втором или третьем и т.д. периодах. Следовательно, минимальное увеличение дискретности выдачи РЛИ при таком подходе составит 2Т. В этом случае, на региональном ЦУВД необходимо будет экстраполировать координаты ВО в пропущенных циклах обновления РЛИ для обеспечения непрерывной выдачи ЦУВД. При этом с.к.о. экстраполированных координат цели при использовании модели прямолинейного равномерного движения ВО можно определить по формуле:

$$\sigma_{\Sigma(k+1)}^2 = \frac{2 \cdot (2 \cdot k^2 + 3 \cdot k + 1)}{k \cdot (k^2 - 1)} \sigma_{рлс}^2, \quad (7)$$

где k – количество предыдущих циклов обновления РЛИ, учитываемых при экстраполяции координат на $k + 1$ цикл.

В существующих АСУ принято ограничивать $k = 8$ из-за снижения чувствительности сопровождения к небольшим маневрам цели, что обеспечивает точность РЛИ при выдаче $\sigma_{xy} = 0,6 \sigma_{рлс}$. Поэтому, при условии непрерывного сопровождения ВО источником РЛИ, с.к.о. экстраполированных координат ВО на региональном ЦУВД в пропущенных циклах выдачи по формуле (7) составит $\sigma_{\Sigma} = 1,33\sigma_{xy}$. Для случая минимального увеличения дискретности выдачи РЛИ от источника в 2 раза каждая вторая отметка о ВО при выдаче ее с регионального ЦУВД

на ЦУВД будет экстраполированной. Тогда для определения с.к.о. РЛИ следует провести преобразование выражения (3):

$$\begin{aligned} \sigma_{xy} &= \sqrt{\frac{1}{n} \cdot \sum_{i=1}^n \delta_i^2} = \sqrt{\frac{1}{n} \left(\sum_{m=1}^1 \delta_m^2 + \sum_{k=1}^{n-1} \delta_k^2 \right)} = \\ &= \sqrt{\frac{1}{n} \cdot \sigma_m^2 + \frac{n-1}{n} \cdot \sigma_k^2}, \end{aligned} \quad (8)$$

где n – количество сообщений о ВО, выданных с регионального ЦУВД; δ_m, δ_k – ошибки координат для m -го ВО, полученного на региональном ЦУВД от источника РЛИ, и для k -го экстраполированного ВО; 1 – число сообщений о ВО, поступивших от источника РЛИ на региональное ЦУВД; $(n - 1)$ – число экстраполированных отметок ВО на региональном ЦУВД.

Для случая увеличенной дискретности выдачи в 2 раза согласно выражению (8) получим:

$$\begin{aligned} \sigma_{xy2T} &= \sqrt{(\sigma_{\Sigma}^2 + \sigma_{xy}^2) / 2} = \\ &= \sqrt{(1,33^2 \cdot \sigma_{xy}^2 + \sigma_{xy}^2) / 2} = 1,18 \cdot \sigma_{xy}. \end{aligned}$$

Поэтому, при условии $\delta_{xy} \leq 1000$ м и непрерывного сопровождения ВО с прямолинейным и равномерным движением точность выдачи РЛИ на региональном ЦУВД σ_{xy2T} может оказаться ниже требуемой. Вместе с тем, реальное движение ВО не всегда соответствует выбранной модели, а радиолокационное наблюдение носит эпизодический характер, что еще больше снижает точность РЛИ. Результаты моделирования показывают, что при увеличении дискретности выдачи сообщений о ВО в 2 раза точность выдачи РЛИ не удовлетворяет требуемым значениям.

Оценим влияние метода группирования ВО на точность выдачи РЛИ.

Ошибка положения пригруппированных ВО определяется расстоянием от них до головной цели. Предполагая равномерное распределение ВО в пределах квадратного строга группирования, можно оценить с.к.о. координат пригруппированных ВО σ_{xp} относительно центра строга:

$$\sigma_{xp} = \lambda / (2 \cdot \sqrt{3}), \quad \sigma_{xyp} = \sqrt{\sigma_{xp}^2 + \sigma_{yp}^2} = 0,41 \cdot \lambda, \quad (9)$$

где λ – размер квадратного строга группирования по фронту или в глубину, м.

С учетом точности РЛИ по головному ВО определим с.к.о. координат пригруппированных ВО σ_{xgp} относительно головного ВО:

$$\sigma_{xgp} = \sqrt{\sigma_{xyp}^2 + \sigma_{xy}^2}. \quad (10)$$

При группировании 33,3% ВО для требуемого уменьшения плотности потока данных, РЛИ по этим ВО будет выдаваться с точностью $\sigma_{xy гр}$, а по осталь-

ным ВО с точностью σ_{xy} . Тогда используя выражения (8-10) можно оценить соответствие с.к.о. выдачи РЛИ при использовании метода группирования предъявляемым требованиям к точности:

$$\begin{aligned} \hat{\sigma}_{xyгр} &= \sqrt{0,33\sigma_{xyгр}^2 + 0,67} = \\ &= \sqrt{0,33(0,41^2\lambda^2 + \sigma_{xy}^2) + 0,67\sigma_{xy}^2} \leq 1 \text{ км.} \end{aligned} \quad (11)$$

Графическое решение неравенства (11), представленное заштрихованной областью на рис. 1, позволяет определить область соответствия между размерами строка группирования и точностью РЛИ по несгруппированным ВО. Вместе с тем, ограничение расстояний между ВО и точностные характеристики источников не позволяют обеспечить такое соответствие (рис. 1). Результаты моделирования показывают, что при группировании 33,3% ВО точность выдачи РЛИ не удовлетворяет требуемым значениям.

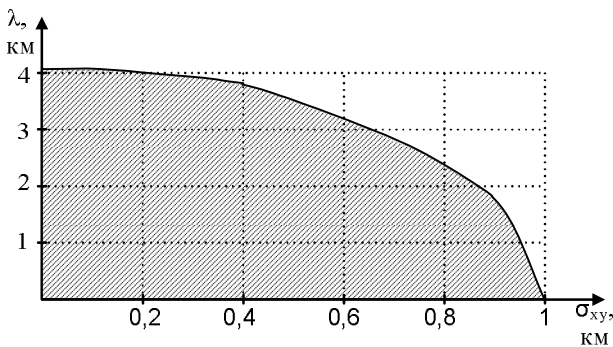


Рис. 1. График зависимости размеров строка группирования λ от точности РЛИ по несгруппированным ВО σ_{xy}

Оценим влияние метода селекции ВО на полноту обеспечения РЛИ регионального ЦУВД. При использовании этого метода источники РЛИ прекращают выдачу сообщений о некоторых ВО, указанных потребителем. В случае прекращения выдачи РЛИ по 33,3% ВО для согласования производительности источника РЛИ с пропускной способностью канала передачи данных коэффициент проводки составит согласно выражению $1,8 K_{пр} = 0,67$, что не удовлетворяет требованиям к полноте обеспечения радиолокационной информацией регионального центра управления воздушным движением.

Оценим коэффициенты сжатия РЛИ при использовании международных стандартов сжатия данных по протоколам MNP5, MNP7, V.42bis, V.44, которые реализованы в современных модемах. Эти протоколы представляют собой комбинации рассмотренных в п.2 методов сжатия, а также набор правил согласования параметров сжатия данных. Так протокол MNP5 реализует кодирование повторов с применением кода Хаффмена. Протокол MNP7 использует улучшенную форму кодирования методом Хаффмена в сочетании с марковским алгоритмом прогнозирования. В протоколе V.42 bis реализован метод сжатия словарного типа, а в протоколе V.44 - его модификация для использования в аппаратуре спутниковой связи.

В результате оценки эффективности указанных протоколов сжатия при передаче РЛИ получен график зависимости коэффициента сжатия $K_{сж}$ от максимального размера сжимаемого блока данных L , который можно устанавливать в современных модемах из следующего набора значений: 32,64,128,256 байт (рис. 2).

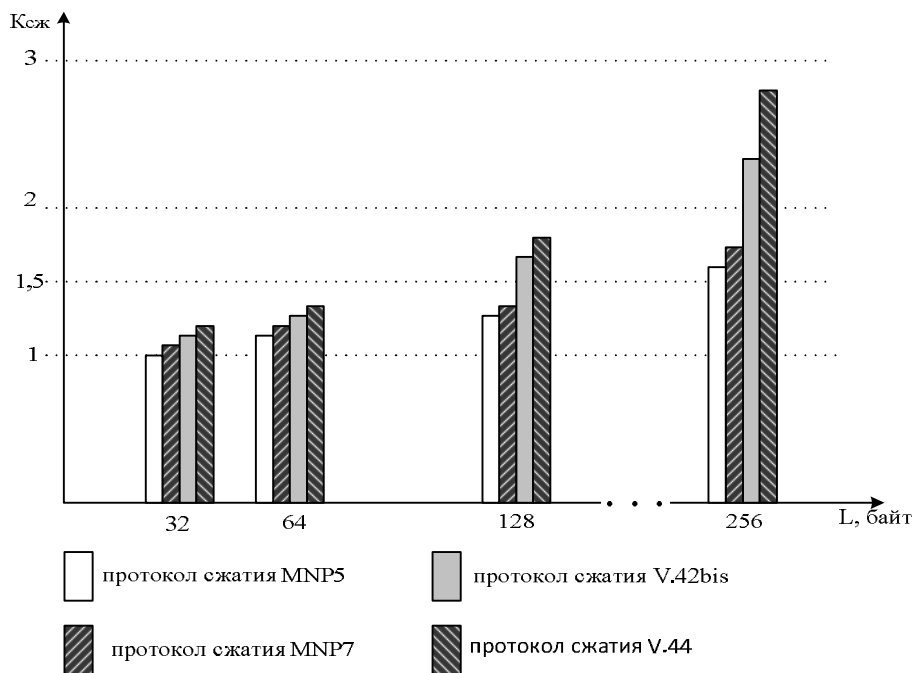


Рис. 2. График зависимости коэффициента сжатия $K_{сж}$ от максимального размера сжимаемого блока данных L для стандартных протоколов сжатия

Размеры сообщений о воздушных объектах ограничены составом необходимых сведений и не превышают 32-х байт в АСУ центров управления воздушным движением старого поколения и 64-х байт в АСУ нового поколения. На рис. 2 показано, что потоку 32-байтовых сообщений соответствует $K_{сж}=1,25$, а потоку 64-байтовых сообщений - $K_{сж}=1,3$. Тогда при требуемом $K_{сж} \geq 1,5$ значение $K_{пр}$ при передаче 32-байтовых сообщений составит $K_{пр} = 1,25 / 1,5 = 0,83$, а 64-байтовых сообщений - $K_{пр} = 1,3 / 1,5 = 0,87$, что не соответствует требованиям к полноте обеспечения радиолокационной информацией центров управления воздушным движением.

Выводы

Существующие информационные методы согласования производительности источников радиолокационной информации с пропускной способностью каналов передачи данных не обеспечивают требуемую полноту и точность обеспечения радиолокационной информацией регионального центра управления воздушным движением. Причинами этого являются фиксированный размер и состав информационных элементов в сообщениях по всем воздушным объектам, а также фиксированная дискретность их выдачи. Жесткая структура сообщения о воздушных объектах обуславливает избыточность при передаче неизменившихся данных. Одинаковая дискретность выдачи радиолокационной информации для всех воздушных объектов приводит к избыточности радиолокационной информации по малоскоростным или неважным в отношении воздушным объектам и к неточной информации по высокоскоростным или маневрирующим воздушным объектам, а также по воздушным объектам, которые в данное время имеют наибольшее значение.

Для разрешения противоречия между требуемой и реализуемой полнотой и точностью обеспечения радиолокационной информацией центров

управления воздушным движением целесообразно использовать новые принципы формирования и выдачи сообщений о воздушных объектах, основанные на изменении состава и размера информационных элементов в сообщениях о воздушных объектах, а также дискретности выдачи сообщений по отдельным воздушным объектам. Реализация этих принципов возможна в перспективной АСУ центров управления воздушным движением, создаваемой на основе объединения ЛВС центров управления воздушным движением.

Список литературы

1. Турсунходжаев Х.А. Теория цифровой обработки радиолокационной информации: Учебное пос. / Х.А. Турсунходжаев. – Х.: ВИРТА ПВО, 1989. – 125 с.
2. Словарь по кибернетике: Св. 2000 ст. / Под ред. В.С. Михалевича. 2-е изд. – К.: Гл. ред. УСЭ им. М.Л. Бажана, 1989. – 751 с.
3. Столингс В. Компьютерные системы передачи данных / В. Столингс: Пер. с англ. – М.: Издательский дом "Вильямс", 2002. – 928 с.
4. Кузьмин С.З. Цифровая радиолокация. Введение в теорию / С.З. Кузьмин. – К.: КВЦ, 2000. – 428 с.
5. Лагутенко О.И. Современные модемы / О.И. Лагутенко. – М.: Эко-Трендз, 2002. – 344 с.
6. Столингс В. Современные компьютерные сети / В. Столингс. – СПб.: Питер, 2003. – 783 с.
7. Метод формирования признаков информационной модели конфликтных ситуаций для подсистем поддержки принятия решений в перспективных системах управления специального назначения / М.А. Павленко, Г.С. Степанов, М.В. Касьяненко, В.Н. Руденко // Збірник наукових праць Харківського національного університету Повітряних Сил. – Х.: ХНУПС, 2016. – Вип. 3. – С. 101-103.

Надійшла до редколегії 16.8.2016

Рецензент: д-р техн. наук, проф. О.І. Тимочко, Харківський національний університет Повітряних Сил імені І. Кожедуба, Харків.

ОБҐРУНТУВАННЯ НАПРЯМКІВ ДОСЛІДЖЕНЬ ЩОДО ВДОСКОНАЛЕННЯ ПРОЦЕСУ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ РАДІОЛОКАЦІЙНОЮ ІНФОРМАЦІЄЮ РЕГІОНАЛЬНИХ ЦЕНТРІВ УПРАВЛІННЯ ПОВІТРЯНИМ РУХОМ

А.С. Могілатенко, Ю.О. Данілов, М.А. Павленко

Необхідність практичного вирішення завдання забезпечення регіонального центру повітряного руху радіолокаційною інформацією з необхідною повнотою і точністю та недостатня розвиненість теоретичної бази для її вирішення, зумовлюють актуальність наукової задачі розробки методу формування та видачі повідомлень про повітряні об'єкти від джерел радіолокаційної інформації на регіональний центр управління повітряним рухом, адаптивного до змін продуктивності джерел радіолокаційної інформації і пропускної здатності каналів передачі даних.

Ключові слова: аналіз, обробка, управління, інформація.

SUBSTANTIATION OF RESEARCH TO IMPROVE THE PROVISION OF RADAR INFORMATION REGIONAL AIR TRAFFIC CONTROL CENTERS

A.S. Mohilatenko, Yu.A. Danilov, M.A. Pavlenko

The need for a practical solution to the problem to ensure a regional center of air traffic radar information with the required completeness and accuracy, and insufficient development of the theoretical basis for its decision, cause the actual scientific task of developing a method of forming and issuing reports of aerial objects from radar data sources on a regional air traffic control center, adaptive to changes in the performance of radar data sources and bandwidth data channels.

Keywords: analysis, processing, management, information.

УДК 623.765:681.513.6

П.П. Зуев

Воздушное командование «Юг», Одесса

МЕТОД РАЗРЕШЕНИЯ НЕШТАТНЫХ СИТУАЦИЙ В ЗОНЕ ОТВЕТСТВЕННОСТИ ОБЪЕДИНЕНИЯ ВОЗДУШНЫХ СИЛ

Введены понятия штатной и нештатной ситуаций, возникающих в зоне ответственности объединения воздушных сил. Для разрешения нештатных ситуаций предложено сформировать план. Для этого нештатные ситуации ранжируются в порядке уменьшения степени опасности и оперативности реагирования. Определена «глубина» плана. Предложен метод разрешения нештатных ситуаций, возникающих в зоне ответственности. Для решения задачи ранжирования использован алгоритм Сахни-Горвица. Разработанный алгоритм позволяет ранжировать нештатные ситуации по минимуму функции штрафов, удаляя бесперспективные решения из последовательности. Предложенный алгоритм повышает оперативность реагирования дежурных сил на нештатные ситуации.

Ключевые слова: нештатная ситуация, принятие решения, алгоритм Сахни-Горвица, ранжирование нештатных ситуаций, минимум функции штрафов, план разрешения нештатных ситуаций/

Введение

Постановка проблемы и анализ литературы.

В последнее время в мире усилилась опасность проведения террористических актов различными террористическими группировками. При этом возросла вероятность применения средств воздушного нападения (как пилотируемых, так и беспилотных), что может привести к значительным людским жертвам и огромным материальным потерям. Все это приводит к сокращению времени на реакцию дежурных сил объединения воздушных сил в секторе прикрытия воздушного пространства и на принятие решения. Своевременная постановка задач в таких условиях становится возможной только в реальном (близком к реальному) масштабе времени.

Главной целью распознавания ситуаций в воздушном пространстве является отнесение их формализованных описаний к соответствующим классам. Автоматизация процедур распознавания является элементом автоматизации принятия решений. По результатам распознавания ситуаций принимается решение о применении дежурных сил [1, 2].

Руководящие документы по контролю воздушного пространства Украины и порядку его использования воздушными судами различных ведомств Украины и иностранных государств позволяют выделить в зоне ответственности объединения воздушных сил штатные и нештатные ситуации [3, 4].

Штатной ситуацией называется движение воздушного судна в заданных коридорах пролета, с заданной скоростью, в заданном эшелоне высоты, с определенным курсом, в заданном интервале времени, в соответствии с расписанием (заявкой) на полет и количестве указанном в заявке [4]. Нештатной ситуацией является движение воздушного судна вне расписания (без заявки) на полет или с нарушением одного или

нескольких вышеуказанных параметров. Она также классифицируется на ряд типов нарушений порядка использования воздушного пространства [4].

Целью статьи является разработка метода разрешения нештатных ситуаций в зоне ответственности объединения воздушных сил.

Основная часть

При функционировании АСУ авиацией и противовоздушной обороной в воздушном пространстве, контролируемом объединения воздушных сил, возможно возникновение нескольких нештатных ситуаций. Каждая из них характеризуется следующими величинами: i – индекс ситуации; d_i – директивный срок разрешения i -ой ситуации; T_i – время ее устранения; $v_S(i)$ – коэффициент относительной опасности i -й ситуации. Разработаем оптимальный метод разрешения таких нештатных ситуаций в воздушном пространстве (рис. 1).

Для разрешения нештатных ситуаций сформируем план. С этой целью ранжируем нештатные ситуации в порядке уменьшения степени опасности и срочности (оперативности) реагирования и определим «глубину» плана [5]. Глубиной плана разрешения нештатных ситуаций назовем число наиболее опасных и срочных ситуаций, включенных в план (w):

$$G_1 = \sum_{i=1}^w v_S(i) / (\alpha T_i), \quad (1)$$

или исключенных из него (M):

$$G_2 = \sum_{i=w+1}^M v_S(i) / (\alpha T_i), \quad (2)$$

где α – некоторый коэффициент нормировки для получения безразмерных величин G_1 и G_2 ; G_1 (G_2) – суммы отношений опасности нештатных ситуаций ко времени их разрешения для ситуаций, включенных в план и исключенных из него соответственно.

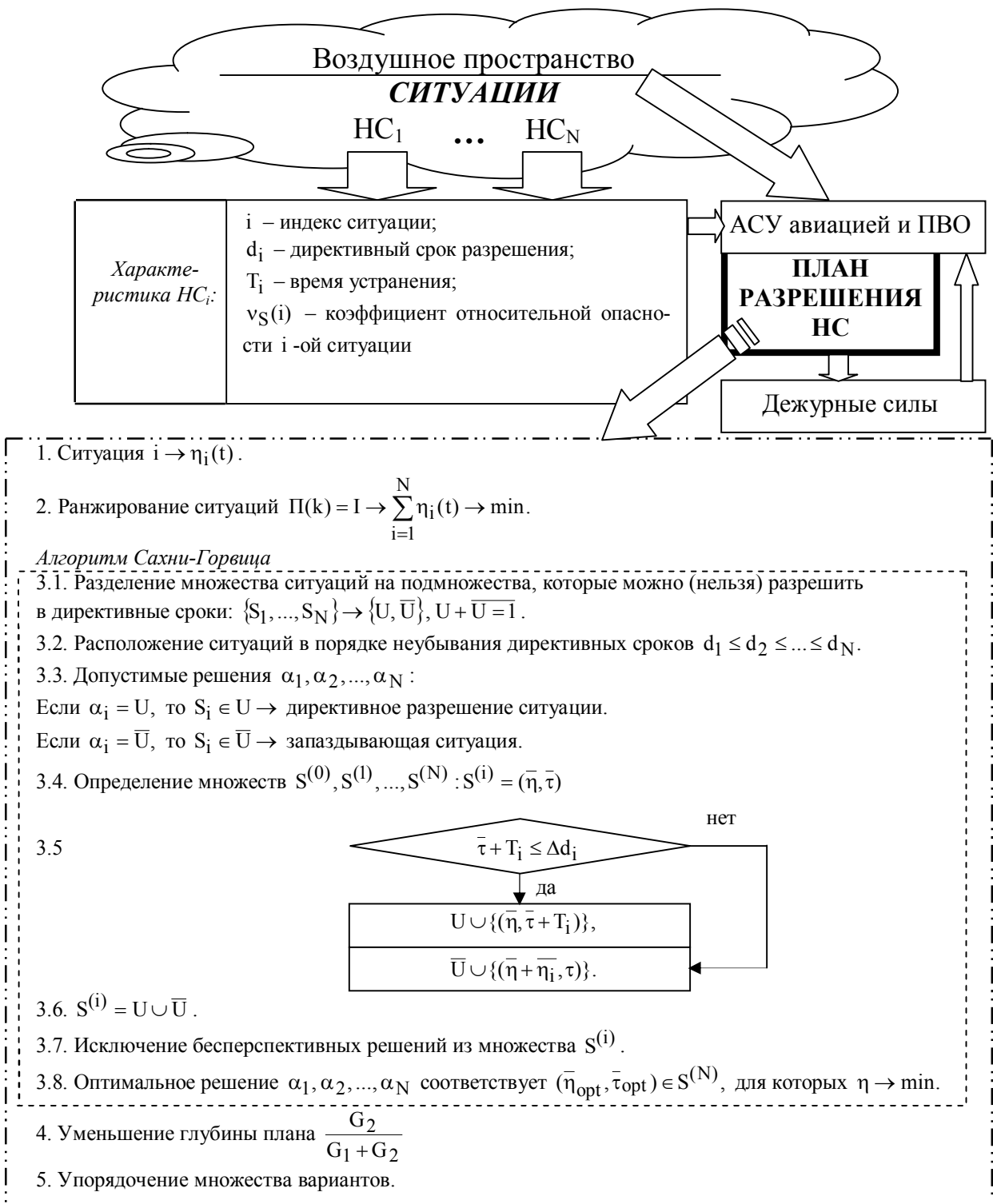


Рис. 1. Алгоритм разрешения нештатной ситуации

Пусть имеется S_N нештатных ситуаций с функциями штрафов:

$$\eta_i(t) = \begin{cases} v_S(i), & \text{если } T_i > \Delta d_i, \\ 0, & \text{в противном случае,} \end{cases} \quad (3)$$

где $\Delta d_i = d_i - \hat{t}$; \hat{t} – текущее время.

Для ранжирования ситуаций Π необходимо найти последовательность, в которой $\Pi(k) = I$, если i -ая ситуация должна быть разрешена k -й по счету, а суммарная функция штрафов – минимальна:

$$\sum_{i=1}^N \eta_i(t) \rightarrow \min. \quad (4)$$

Задача ранжирования не поддается решению аналитическими методами. Для ее решения предлагается применить алгоритм Сахни-Горвица [5], реализующий метод динамического программирования.

Множество ситуаций $\{S_1, \dots, S_N\}$ разделим на подмножества U (\bar{U}) ситуаций, которые можно (нельзя) разрешить в директивные сроки. Все ситуации расположим в порядке неубывания директивных

сроков $d_1 \leq d_2 \leq \dots \leq d_N$. Все допустимые решения представим в виде последовательности литералов $\alpha_1, \alpha_2, \dots, \alpha_N$. Если $\alpha_i = U$, то $S_i \in U$, т.е. ситуация разрешается в указанном порядке с соблюдением директивного срока d_i . Если $\alpha_i = \bar{U}$, то $S_i \in \bar{U}$ и разрешение ситуации запаздывает.

Алгоритм Сахни-Горвица позволяет определить множества $S^{(0)}, S^{(1)}, \dots, S^{(N)}$. Каждое множество $S^{(i)}$ представляет собой упорядоченный набор пар $(\bar{\eta}, \bar{\tau})$, соответствующих суммарному штрафу $(\bar{\eta})$ и суммарному времени разрешения ситуаций $(\bar{\tau})$. Для формирования $S^{(i)}$ на каждом уровне проверяется каждая пара $(\bar{\eta}, \bar{\tau})$:

$$\bar{\tau} + T_i \leq \Delta d_i. \quad (5)$$

Если условие (5) выполняется, то образуются следующие множества:

$$U = U \cup \{(\bar{\eta}, \bar{\tau} + T_i)\}, \quad (6)$$

$$\bar{U} = \bar{U} \cup \{(\bar{\eta} + \bar{\eta}_i, \tau)\}. \quad (7)$$

При невыполнении условия (5) образуется только множество (7). После просмотра всех пар $(\bar{\eta}, \bar{\tau})$ i -го уровня множества U и \bar{U} сливаются: $S^{(i)} = U \cup \bar{U}$. Из множества $S^{(i)}$ исключаются бесперспективные решения. Оптимальное решение $\alpha_1, \alpha_2, \dots, \alpha_N$ соответствует паре из $S^{(N)}$ с наименьшим значением η .

Лицо, принимающее решение, имеет ограниченные возможности по времени и ресурсам на разрешение нештатных ситуаций. Для этого необходимо сократить поток информации о нештатных ситуациях. С этой целью определим глубину плана, исходя из заданного относительного уровня потерь, связанного с исключением менее опасных и срочных ситуаций из плана:

$$\frac{G_2}{G_1 + G_2} \leq \beta, \quad (8)$$

где β – заданный относительный уровень потерь, связанный с исключением ситуаций.

Выводы

Таким образом, предложенный метод разрешения нештатных ситуаций, основанный на использовании алгоритма Сахни-Горвица, соотношения (1)–(8), позволяет ранжировать нештатные ситуации по минимуму функции штрафов, удаляя бесперспективные решения из последовательности нештатных ситуаций, имеющих место в зоне ответственности объединения воздушных сил. В дальнейших исследованиях предлагается разработать соответствующую процедуру определения и выбора активных средств воздействия по воздушным судам – виновникам возникновения нештатных ситуаций, т.е. нарушителям воздушного пространства.

Список литературы

1. Харук А.И. Боевая авиация XXI века: Военная энциклопедия XXI / А.И. Харук. – М., 2011. – 304 с.
2. Красовский А.А. Системы автоматического управления летательных аппаратов / А.А. Красовский, Ю.А. Вавилов, А.И. Сучков. – М.: ВВИА, 1986. – 286 с.
3. Тарасов В.Г. Основы теории АСУ / В.Г. Тарасов. – М.: ВВИА, 1988. – 364 с.
4. Повітряний кодекс України / Закон України від 19.05.2011 № 3393-VI. – Відомості Верховної Ради, 2011, № 48–49, ст. 536.
5. Демидович Б.П. Краткий курс высшей математики / Б.П. Демидович. – М.: Астрель, 2001. – 655 с.

Надійшла до редколегії 10.09.2016

Рецензент: д-р техн. наук, доц. М.А. Павленко, Харківський національний університет Повітряних Сил імені Івана Кожедуба, Харків.

МЕТОД РОЗВ'ЯЗАННЯ НЕШТАТНИХ СИТУАЦІЙ У ЗОНІ ВІДПОВІДАЛЬНОСТІ ОБ'ЄДНАННЯ ПОВІТРЯНИХ СИЛ

П.П. Зуєв

Введені поняття штатної і нештатної ситуацій, що виникають в зоні відповідальності об'єднання повітряних сил. Для розв'язання нештатних ситуацій запропоновано сформулювати план. Для цього нештатні ситуації ранжуються в порядку зменшення ступеня небезпеки і оперативності реагування. Визначена «глибина» плану. Запропонований метод розв'язання нештатних ситуацій, що виникають в зоні відповідальності. Для вирішення завдання ранжування використаний алгоритм Сахни-Горвіца. Розроблений алгоритм дозволяє ранжувати нештатні ситуації за мінімумом функції штрафів, видаляючи безперспективні рішення з послідовності. Запропонований алгоритм підвищує оперативність реагування чергових сил на нештатні ситуації.

Ключові слова: нештатна ситуація, прийняття рішення, алгоритм Сахни-Горвіца, ранжування нештатних ситуацій, мінімум функції штрафів, план розв'язання нештатних ситуацій.

METHOD OF REMOVAL OF NONREGULAR SITUATIONS IN AREA OF RESPONSIBILITY OF AIR FORCE COMMAND

P.P. Zuev

The concepts of regular and nonregular situations, arising up in the area of responsibility of air force command are entered. It is suggested to form a plan for removal of nonregular situations. For this purpose nonregular situations are ranged in order of diminishing of degree of danger and operativeness of reacting. The «depth» of plan is certain. The method of removal of nonregular situations, arising up in the area of responsibility, is offered. The algorithm of Sakhni-Gorvitsa is utilized for decision of task of ranging. The developed algorithm allows to range nonregular situations on a minimum of function of fines, deleting having no the prospects decisions from a sequence. The offered algorithm is increased operativeness of reacting of duty forces on nonregular situations.

Keywords: nonregular situation, decision-making, algorithm of Sakhni-Gorvitsa, ranging of nonregular situations, a minimum of function of fines, plan of removal of nonregular situations.

УДК 681.518.2

О.В. Шульга

Полтавський національний технічний університет імені Юрія Кондратюка, Полтава

ОБГРУНТУВАННЯ І ВИБІР АНАЛІТИЧНОГО МЕТОДУ РОЗРАХУНКУ СТАТИСТИЧНИХ ХАРАКТЕРИСТИК ПОЛЯ ПРИЙМАЮЧОЇ ХВИЛІ ПРИ ЇЇ ТРАНСІОНОСФЕРНОМУ РОЗПОВСЮДЖЕННІ

Проведений аналіз аналітичних методів розрахунку статистичних характеристик поля прийому хвилі при її трансіоносферному поширенні, найбільш відомим із яких є метод фазового екрану (МФЕ). Основу МФЕ становить модель РРВ всередині іоносферного шару, описувана наближенням фазового екрану (ФЕ). Визначено, що дане наближення найкращим способом відповідає уявленню моделі розподілу флуктуацій ЕК в іоносфері у вигляді тонкого шару неоднорідностей з флуктуаціями інтегральної ЕК $\Delta NT(\rho)$. Наближення ФЕ дозволяє визначити вираз для дисперсії флуктуацій фазового фронту хвилі $\Delta\phi(\rho, z)$ на виході іоносферного шару.

Ключові слова: метод фазового екрану, іоносферний шар, трансіоносферне поширення радіохвиль, дифракція хвиль, флуктуації коефіцієнта заломлення, неоднорідність іоносфери, монохроматична хвиля.

Вступ

Сутність МФЕ полягає в аналітичному розрахунку статистичних характеристик поля даної хвилі в точці прийому шляхом рішення задачі дифракції хвиль за ФЕ при заданій статистиці віртуальних джерел, обумовленою σ^2_ϕ .

Наближення ФЕ залишається справедливим при таких значеннях $\sigma^2_{\Delta N_e} = (\beta N_{em})^2$ і f_0 , коли величина $\sigma^2_\phi \ll 1$. У цьому випадку дифракційними ефектами на неоднорідностях всередині іоносферного шару можна знехтувати і вважати амплітуду вихідної хвилі незмінною в порівнянні з падаючою

$$A(\rho, z_y) \approx A_0.$$

Збільшення $\sigma^2_{\Delta N_e}$ або зменшення f_0 призводить до того, що флуктуації фази у фронті ЕМХ стають помітними вже всередині неоднорідного шару. Подальше поширення такої хвилі супроводжується дифракційними ефектами, в результаті яких її фронт на виході іоносферного шару виявляється схильним не тільки фазовим, але і амплітудним флуктуаціям $x(\rho, z_e)$.

Мета статті: вивчення аналітичного методу розрахунку статистичних характеристик поля прийому хвилі при її трансіоносферному поширенні методом ФЕ та встановити граничну умову застосовності даного методу.

Основна частина

Дисперсії флуктуації фази σ^2_ϕ і амплітуди σ^2_x по фронту вихідної хвилі можна визначити шляхом вирішення завдання поширення і дифракції в товстому неоднорідному шарі в наближенні Ритова (плавних збурень). Використовуючи відому модифікацію спектру флуктуацій коефіцієнта заломлення n [1]

$$\Phi_n(k) = \frac{\Gamma(\gamma + 3/2) \sigma_n^2 L_0^2}{\pi \sqrt{\pi} \Gamma(\gamma) (1 - k^2 L_0^2)^{\gamma + 3/2}}. \quad (1)$$

де $\sigma_n^2 = (\lambda r_e / k_n) \sigma_{\Delta N_e}^2$ – дисперсія флуктуацій n .

Враховуючи, що $\Phi_n(k) \approx \Phi_{\Delta N_e} \approx k^4$ досягається при $\gamma = 1/2$ отримано такий результат:

$$\Phi_n(k) = \frac{\sigma_n^2 h_0^2}{\pi^2 (1 + k^2 h_0^2)^2}. \quad (2)$$

Використовуючи

$$\sigma_\phi^2 \approx 2(\lambda r_e)^2 L_0 z_y \sigma_{\Delta N_e}^2, \quad (3)$$

можна отримати вираз для дисперсії флуктуацій амплітуди (рівня) у фронті хвилі на виході іоносферного шару у вигляді

$$\sigma_x^2 \approx \frac{k_0 z_e^2 \sigma_n^2}{L_0} = \frac{2\pi (40,4 z_e \beta N_{em})^2}{L_0 f_0^3}. \quad (4)$$

Згідно з експериментальними даними, наближення Ритова залишається справедливим за умови

$$\sigma_x^2 \leq 0,3, \quad (5)$$

що визначає межу слабких флуктуацій хвилі. Що стосується фазових флуктуацій, то наближення Ритова не накладає обмежень на величину σ_ϕ^2 .

Отже, отримане в наближенні ФЕ вираз для σ_x^2 буде справедливо не тільки за умови $\sigma_\phi^2 \ll 1$, але і при $\sigma_\phi^2 \gg 1$ (тобто при будь-яких σ_ϕ^2).

Очевидно, що на статистичні характеристики поля прийому хвилі будуть впливати флуктуації як фазового (σ_ϕ^2), так і амплітудного (σ_x^2) фронту хвилі на виході іоносферного шару. При цьому облік σ_ϕ^2 істотно ускладнює метод аналітичного розра-

хунку статистичних характеристик прийому хвилі і отримане з його допомогою вираження. У той же час відношення дисперсій (2):

$$\sigma_{\phi}^2 / \sigma_x^2 = 4\pi L_0^2 / (\lambda z_e),$$

показує, що для довжин хвиль, використовуваних в РТС, флуктуації рівня в амплитудном фронті вихідний хвилі будуть значно менше фазових ($\sigma_x^2 \ll \sigma_{\phi}^2$) при будь-яких значеннях іоносферних параметрів β і N_{em} , для яких справедливо наближення Ритова ($\sigma_x^2 < 0,3$).

Звідси випливає, що для інженерних розрахунків статистичних характеристик поля прийому хвилі при трансіоносферном поширенні можна використовувати результати найбільш простого методу фазового екрану до тих пір, поки виконується умова слабких флуктуацій

$$(\beta N_{em})^2 \leq 9 \cdot 10^3 \cdot (L_0 / z_e^2) \cdot f_0^3. \quad (6)$$

При зміні іоносферних параметрів (β , N_{em}) або несучої частоти (f_0) випромінюваних хвиль (сигналів) до значень, коли гранична умова порушується, облік сильних амплітудних флуктуацій вихідний хвилі ($\sigma_x^2 > 0,3$) в статистичних характеристиках прийому хвилі представляється обов'язковим. Однак, рішення цієї задачі аналітичними методами (наприклад, параболічного рівняння) скрутно, а крім того, загальний вираз для визначення σ_x^2 в рамках теорії сильних флуктуацій до теперішнього часу не отримано [2]. Тому МФЕ можна застосувати і в тому випадку, коли значення параметрів β , N_{em} , f_0 не задовольняють умові, однак отримувані при цьому результати слід вважати нижньою межею зміни статистичних характеристик поля прийому хвилі.

Таким чином, найбільш доцільним з точки зору простоти і області застосовності аналітичного методу розрахунку статистичних характеристик поля прийому хвилі при її трансіоносферном поширенні є метод ФЕ. Встановлено граничну умову застосовності даного методу, при виконанні якого результати розрахунку зазначених характеристик можна вважати досить достовірними (для прикладних досліджень), а при його порушенні – нижньою межею їх зміни.

Висновки

У рамках даної статті було визначено, що функціонування системи ідентифікації КА залежить від можливості прийому радіосигналів неконтрольованих випромінювань (НКВ) КА і алгоритмів обробки цих сигналів. Процеси нестабільності ЗГ БРТС, що служать для ідентифікації КА, визначають необхідність вибору оптимального алгоритму обробки інформації про ці процеси з оцінкою параметрів обраної моделі на тлі адитивного шуму вимірювань. Особливий інтерес при цьому представляє спільне дослідження повільно змінюючихся $m(t)$ і швидкозмінюючихся $n(t)$ компонентів процесу ідентифікації $g(t)$.

Список літератури

1. Крейн Р.К. Фундаментальные ограничения, связанные с процессами распространения радиоволн / Р.К. Крейн // ТИИЭР. – 1981. – Т. 69, № 2. – С. 64–80.
2. Нестационарные процессы в ионосфере Земли и их влияние на распространение коротких радиоволн / Ю.Е. Тарашук, П.М. Нагорский, Б.Б. Борисов и др. – Томск : Томский ун-т, 1986. – 344 с.

Надійшла до редколегії 16.6.2016

Рецензент: д-р техн. наук, проф. С.В. Козелков, Державний університет телекомунікацій, Київ.

ОБОСНОВАНИЕ И ВЫБОР АНАЛИТИЧЕСКОГО МЕТОДА РАСЧЕТА СТАТИСТИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ПОЛЯ ПРИНИМАЕМОЙ ВОЛНЫ ПРИ ЕЕ ТРАНСИОНОСФЕРНОМ РАСПРОСТРАНЕНИИ

О.В. Шульга

Проведен анализ аналитических методов расчета статистических характеристик поля принимаемой волны при ее трансіоносферном распространении, наиболее известным из которых является метод фазового экрана (МФЭ). Основу МФЭ составляет модель РРВ внутри ионосферного слоя, описываемая приближением фазового экрана (ФЭ). Определено, что данное приближение лучшим способом соответствует представлению модели распределения флуктуаций ЭК в ионосфере в виде тонкого слоя неоднородностей с флуктуациями интегральной ЭК $\Delta NT(\rho)$. Приближение ФЭ позволяет определить выражение для дисперсии флуктуаций фазового фронта волны $\Delta\phi(\rho, z)$ на выходе ионосферного слоя.

Ключевые слова: метод фазового экрана, ионосферный слой, трансіоносферное распространение радиоволн, дифракция волн, флуктуации коэффициента преломления, неоднородность ионосферы, монохроматическая волна.

RATIONALE AND SELECTION OF ANALYTICAL METHOD FOR RECEIVED WAVE STATISTICAL CHARACTERISTICS FIELD CALCULATION AS IT TRANSIONOSPHERIC DISTRIBUTION

O.V. Shulga

The analysis of analytical calculating methods for the received wave field statistical characteristics during its propagation transionospheric, the most famous of which is the method of phase screen (MFE). The basis of the model MFE RTD within the ionospheric layer, described the approach phase screen (PE). It was determined that the best way to approach a representation of the distribution model EC fluctuations in the ionosphere in the form of a thin layer irregularities with the fluctuations of the integrated EC $\Delta NT(\rho)$. Approaching the PV to determine an expression for the variance of the phase fluctuations of the wave front $\Delta\phi(\rho, z)$ at the output of the ionospheric layer.

Keywords: method of phase screen, ionospheric layer, through ionosphere radio waves, diffraction waves, fluctuations of the refractive index inhomogeneity of the ionosphere, monochromatic wave.

ПИТАННЯ УПРАВЛІННЯ В СКЛАДНИХ СИСТЕМАХ

УДК 621.314.7

А.Ф. Даниленко¹, А.Г. Дьяков², С.Н. Нечаусов³

¹ *Национальный технический университет «ХПИ», Харьков*

² *Харьковский государственный университет питания и торговли, Харьков*

³ *Национальный аэрокосмический университет имени Н.Е. Жуковского «ХАИ», Харьков*

АЛГОРИТМ ПОЗИЦИОНИРОВАНИЯ ОБРАЗЦА В ЯМР-СПЕКТРОМЕТРЕ

Проведен анализ влияния параметров измерительной установки ЯМР-спектрометра на интенсивность принимаемого эхо-сигнала. Предложен алгоритм оптимизации позиционирования ампулы с образцом в магнитном поле катушки. Применен поиск экстремума сигнала в установке ЯМР-спектрометра на основе чисел Фибоначчи с целью получения максимальной амплитуды принимаемого эхо-сигнала. Рассмотрена возможность реализации данного алгоритма на микроконтроллере и введения устройства позиционирования в систему управления ЯМР-спектрометром.

Ключевые слова: измерительная установка, ЯМР-спектрометр, эхо-сигнал, алгоритм оптимизации, позиционирование ампулы, магнитное поле, поиск экстремума, числа Фибоначчи, микроконтроллер, устройство позиционирования.

Введение

Постановка проблемы. Одним из параметров, который необходимо анализировать при исследовании образцов на установке ядерного магнитного резонанса (ЯМР) является его расположение в магнитном поле. Определение наилучшей точки положения образца позволяет значительно повысить амплитуду эхо-сигнала, повысить точность измерения его параметров и сократить время на получение информации о структуре исследуемого вещества.

Анализ литературы. Образец с исследуемым веществом при проведении исследований пищевых продуктов на установке ЯМР-спектрометра находится одновременно под действием постоянного и переменного магнитного поля [1]. Величина постоянного магнитного поля определяет частоту и интенсивность переменного магнитного поля, которое должно создаваться измерительной катушкой ЯМР-спектрометра. Основными параметрами исследования являются времена спин-спиновой (T_2) и спин-решеточной релаксации (T_1) определяемых из следующих соотношений:

$$T_1 = -\frac{\Delta T_i}{\ln(1 - A_i/A_0)}; \quad T_2 = -\frac{2(\Delta \tau_i)}{\ln(A_i/A_0)}, \quad (1)$$

где ΔT_i – интервал между сериями зондирующих импульсов; $\Delta \tau_i$ – интервал времени между зондирующими импульсами; A_0 – начальная амплитуда импульса; A_i – амплитуда импульса при i -м интервале между зондирующими импульсами.

Из соотношений (1) видно, что ошибка в определении амплитуды импульсов сказывается на точ-

ности определения времен релаксации. Поэтому образец должен быть установлен так в магнитном поле катушки, чтобы амплитуда принимаемого сигнала была максимальной. В этом случае будет обеспечено наилучшее соотношение сигнал-шум и точность определения времен релаксации будет наилучшей. В большинстве случаев позиционирование образца обеспечивается путем визуального наблюдения за амплитудой сигнала и последующей корректировкой положения образца в измерительной катушке [2].

Целью работы является определение, выбор и обоснование алгоритма работы устройства позиционирования образца в магнитном поле катушки для получения максимальной амплитуды принимаемого сигнала с возможностью реализации его на микроконтроллере и дальнейшем введением его в систему управления ЯМР-спектрометром.

Результаты исследований

В [3] приведено соотношение которое позволяет оценить амплитуду принимаемого сигнала ЯМР в зависимости от параметров спектрометра:

$$U = Q\gamma B^2 \chi n V_e / L_k, \quad (2)$$

где γ – гиромагнитное отношение, определяющее резонансную частоту изотопа в магнитном поле; Q – добротность измерительного контура спектрометра; B^2 – суммарная магнитная индукция, образующая магнитными моментами протонов после возбуждения образца; χ – магнитная спиновая восприимчивость; n – число витков приемной катушки; V_e – объем исследуемого образца, на который

воздействует высокочастотное поле; L_k – длина приемной катушки.

Из выражения (2) следует, что при неизменных параметрах измерительной системы спектрометра точка позиционирования образца влияет на величину принимаемого сигнала. Поэтому систему управления спектрометром целесообразно дополнить блоком позиционирования с реализованным в нем алгоритмом определения наилучшей точки установки образца в магнитном поле катушки.

Для оценки влияния высоты расположения образца в катушке предварительно были проведены опыты с разным объемом заполнения ампулы. Они заполнялись водой на высоту 6,5; 10; и 12,5 мм. Дальше путем постепенного перемещения ампулы с образцом в катушке определялось положение, при котором выходной эхо-сигнал был максимальным. Результаты обработки экспериментальных данных, в относительных единицах, приведены на рис. 1. По оси ординат откладывались значения амплитуды сигнала, а по оси абсцисс отложено число оборотов механизма перемещения ампулы с образцом. Один оборот механизма перемещения соответствует смещению образца на 1,5 мм.

Приведенная на рис. 1, кривая 1 показывает график изменения амплитуды сигнала в зависимости от положения образца в поле катушки при заполнении ампулы на 6,5 мм. Графики 2, 3 – соответственно заполнению ампулы на 10 и 12,5 мм соответственно.

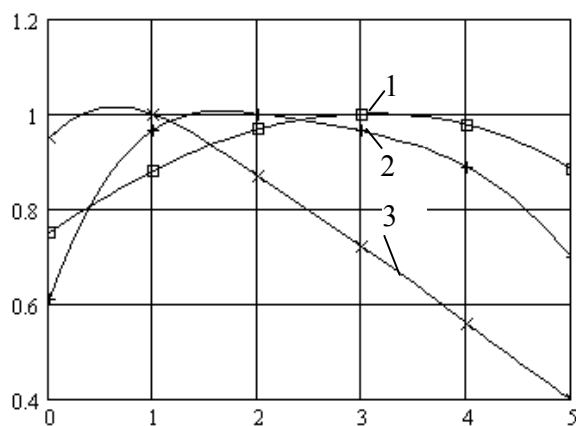


Рис. 1. Зависимость амплитуды образца от положения ампулы при различной степени её заполнения

Из приведенных графиков видно, что при заполнении ампулы на 10 мм максимальная относительная амплитуда сигнала достигает максимума при установлении ампулы на высоте приблизительно 3 мм от начального значения. При этом максимальное значение амплитуды достигается примерно в средней части интервала перемещения. Это значение и является наиболее целесообразным при проведении измерений свойств вещества. В свою оче-

редь наибольшее абсолютное значение сигнала было получено при заполнении ампулы на 12,5 мм. Однако, погрешности позиционирования, в этом случае значительно больше, из-за большей острокопечности изменения зависимости сигнала от положения ампулы с исследуемым образцом в поле катушки ЯМР-спектрометра.

Исследования показали, что при анализе твердых образцов, которые не могут полностью заполнить ампулу также целесообразно не превышать уровень 10 мм, потому что возможен выход образца за границы однородности магнитного поля создаваемого постоянным магнитом.

В качестве алгоритма для определения наилучшего положения образца была исследована возможность использовать алгоритм поиска экстремума на основе использования чисел Фибоначчи. Числа Фибоначчи определяются следующей последовательностью [4]:

$$F_0 = F_1 = 1 ; F_N = F_{N-1} + F_{N-2} ; N > 1 .$$

Использование чисел Фибоначчи в технических устройствах позволяет реализовать алгоритм для организации оптимального поиска экстремума функции одной переменной. Доказано, что если требуется найти положение экстремума функции $H(x)$ определенной на интервале $(a - b)$ с абсолютной ошибкой не превышающей:

$$\Delta = \frac{b - a}{F_N} ,$$

где F_N – N -ое число Фибоначчи, то для отыскания положения экстремума достаточно вычислить не более N значений функции $H(x)$.

Алгоритм определения положения наилучшей точки для проведения измерения состоит из следующих этапов:

1. Вводится начальная a и конечная b точки позиционирования образца. задается интервал Δ , в пределах которого необходимо найти наилучшую точку позиционирования образца. Для реальных графиков, представленных на рис. 1, величину Δ можно принять равной 0,1 от общего интервала $(a - b)$ измерения.

2. Определяется число Фибоначчи, которое будет использоваться при поиске точки максимума из выражения:

$$F_N = \frac{b - a}{\Delta} .$$

3. Определяется шаг поиска по формуле:

$$\Delta = \frac{b - a}{F_N} .$$

4. Определяем значение амплитуды $A(a)$ в начальной точке интервала.

5. Определяем координату первой точки проведения измерения a :

$$X^1 = a + \Delta_N * F_{N-1} \dots$$

6. Сравниваем значение полученной амплитуд в точке X^1 и a . Если $A(X^1) > A(X_n)$ то шаг считается удачным и следующая точка Δ определяется из выражения:

$$X^2 = X^1 + \Delta_N * F_{N-3} \dots$$

Если $A(X^1) < A(X_n)$ то шаг неудачный - следующая точка Δ определяется из выражения:

$$X^2 = X^1 - \Delta_N * F_{N-3} \dots$$

7. Последующие шаги выполняются с уменьшающейся величиной шага

$$\Delta X^i = \pm \Delta_N * F_{N-2-i}$$

по такому правилу: если предыдущий шаг удачный, то следующий $(i + 1)$ выполняется из точки

$$X^{i+2} = X^{i+1} + \Delta X^i ;$$

если шаг неудачный то из точки -

$$X^{i+2} = X^{i+1} - \Delta X^i ;$$

Указанный процесс продолжается до тех пор пока не будут исчерпаны все числа Фибоначчи в убывающей последовательности.

Проведенные исследования и измерения дают возможность поставить вопрос о разработке автоматической системы построенной на основе микроконтроллера для установки образца в зону максимального сигнала.

В качестве первого варианта подобной системы можно так же рассмотреть вариант системы, которая будет давать рекомендации исследователю для установки образца при проведении ее в ручном режиме.

Выводы

Проведен анализ влияния степени заполнения ампулы веществом для исследования величины сигнала ЯМР.

Установлено, что для данной конфигурации измерительной системы наиболее целесообразно проводить заполнение ампулы на высоту 10 мм.

Определена степень влияния положения образца на амплитуду выходного сигнала ЯМР-спектрометра.

Предложены способ и алгоритм минимизации времени и усталости образца при подготовке эксперимента. Отмечено, что применение данного алгоритма позволяет на 40 % снизить затраты времени на позиционирование образца и повысить стабильность условий его проведения.

Список литературы

1. Вашман А.А. Ядерная магнитная релаксация и ее применение в химической физике / А.А. Вашман, И.С. Пронин. – М.: Наука, 1979. – 223 с.
2. Дьяков А.Г. Автоматизированный выбор параметров измерительной установки ЯМР / А.Г. Дьяков, А.Ф. Даниленко // Вестник национального технического университета «ХПИ». – Х.: НТУ «ХПИ», 2006. – Вып. 40. – С. 65-69.
3. Неронов Ю.И. Ядерный магнитный резонанс в томографии и в спектральных исследованиях. Учебное пособие / Ю.И. Неронов, З. Гарайбех. – С-Пб.: Санкт-Петербургский государственный институт точной механики и оптика (Технический университет), 2003. – 84 с.
4. Бояринов А.И. Методы оптимизации в химической технологии / А.И. Бояринов, В.В. Кафаров. Изд. 2-е. – М.: Химия, 1975. – 576 с. (серия «Химической кибернетики»).
5. Олсон Г. Цифровые системы автоматизации процесса управления / Г. Олсон, Д. Пиани. – СПб.: Невский диалект, 2002. – 254 с.
6. Лыков А.В. Тепломассообмен. Справочник / А.В. Лыков. – М.: Энергия, 1972. – 600 с.
7. Гроп Д. Методы идентификации систем / Д. Гроп. Пер. с англ. – М.: Мир. 1979. – 302 с.

Надійшла до редколегії 25.07.2016

Рецензент: д-р техн. наук, проф. С.В. Козелков, Державний університет телекомунікацій, Київ.

АЛГОРИТМ ПОЗИЦІОНУВАННЯ ЗРАЗКА В ЯМР-СПЕКТРОМЕТРІ

О.Ф. Даниленко, О.Г. Дьяков, С.М. Нечаусов

Проведено аналіз впливу параметрів вимірювальної установки ЯМР-спектрометра на інтенсивність сигналу луни, що приймається. Запропоновано алгоритм оптимізації позиціонування ампули із зразком в магнітному полі котушки. Застосовано пошук екстремуму сигналу в установці ЯМР-спектрометра на основі чисел Фібоначчі з метою отримання максимальної амплітуди сигналу луни. Розглянута можливість реалізації даного алгоритму на мікроконтролері і введення пристрою позиціонування в систему управління ЯМР-спектрометром.

Ключові слова: вимірювальна установка, ЯМР-спектрометр, луна-сигнал, алгоритм оптимізації, позиціонування ампули, магнітне поле, пошук екстремуму, числа Фібоначчі, мікроконтролер, пристрій позиціонування..

ALGORITHM OF POSITIONING OF STANDARD IN NMR-SPECTROMETER

A.F. Danilenko, A.G. Dyakov, S.N. Nechausov

The analysis of influencing of parameters of the measuring setting is conducted NMR-spectrometer on intensity of the adopted echo-signal. The algorithm of optimization of positioning of ampoule is offered with a standard in the magnetic field of spool. The search of extremum of signal is applied in setting NMR-spectrometer on the basis of numbers Fibonacci with the purpose of receipt of maximal amplitude of the adopted echo-signal. Marketability this algorithm is considered on microcontroller and introductions of device of positioning to the control system of NMR-spectrometer.

Keywords: the measuring setting, NMR-spectrometer, echo-signal, algorithm of optimization, positioning of ampoule, magnetic field, search of extremum, Fibonacci numbers, microcontroller, device of positioning.

УДК 681.5

Р.В. Захарченко

Полтавський національний технічний університет імені Юрія Кондратюка, Полтава

АНАЛІЗ БАГАТОВИМІРНИХ СИСТЕМ ЗА ДОПОМОГОЮ МАСИВУ ВІДНОСНИХ КОЕФІЦІЄНТІВ ПІДСИЛЕННЯ

У статті розглянуто можливість застосування масиву відносних коефіцієнтів підсилення для аналізу багатовимірних систем та побудови систем управління з домінуючими зв'язками.

Ключові слова: багатовимірні системи, відносні коефіцієнти підсилення, матриця передавальних функцій, канонічне представлення.

Вступ

Процеси, що управляються однією керуючою дією та мають один вихід, класифікуються як системи з одним входом і одним виходом (SISO, single-input single-output). Однак, багато процесів не відповідають такій простій конфігурації управління. Наприклад, в обробній промисловості, будь-який функціональний блок виробництва не може керуватися за допомогою тільки одного контуру управління. Кожен функціональний блок, як правило, потрібно контролювати принаймні за двома змінними, наприклад, продуктивністю і якістю продукції. Тому, існує принаймні два контури управління. Системи з двома і більше контурами управління відомі як багатовимірні системи або системи з кількома входами і кількома виходами (MIMO, multi-input multi-output).

В загальному випадку кожен вхід системи впливає на кожен її вихід. Тому, для того, щоб кілька контурів управління успішно функціонували, кожен контур повинен не заважати іншим. Інакше, при спробі досягнення своїх відповідних цілей, контури можуть протидіяти один одному. Це явище відоме як перехресні зв'язки [1].

До нестабільності системи призводять перехресні зв'язки не враховані при її розробці.

Розглянемо простий підхід до боротьби з перехресними зв'язками: визначення найбільш домінуючих пар входів-виходів для управління багатовимірними системами і створення систем керування з домінуючими зв'язками.

Аналіз багатовимірних систем

Доступність методів побудови системи управління залежить від наявності лінійних моделей системи, оскільки результуюча схема управління має точно відповідати динаміці процесу. Тому багатовимірні системи спочатку моделюються або аналітично, за допомогою системи диференціальних рівнянь, що описують її поведінку, або емпіричним шляхом застосування даних, отриманих експериментально. Очевидно, що відповідність стратегії управління залежить від точності моделі. У випадках, коли ха-

рактеристики системи відомі, як правило, приймається перший підхід. Прикладом може бути процес сушіння зерна у шахтній зерносушарці конвективним методом, який може бути адекватно змодельований за допомогою рівнянь процесу теплопередачі [6]. У таких випадках, як правило, моделі сформульовані в вигляді простору станів.

В обробній промисловості, де є високий ступінь невизначеності поведінки процесу, часто використовується для моделювання емпіричний підхід. Тим не менш, для цілей проектування систем управління передавальної функції, отриманої за допомогою останнього підходу, як правило, достатньо. Крім того, існує відповідність між моделями простору станів та передавальними функціями. Тому будемо розглядати лише передавальні функції багатовимірних процесів при розробці та аналізі систем управління.

Зазначимо, що багатовимірні системи можна розкласти для простоти на множину підсистем розмірності (2×2) , тому будемо розглядати тільки процес (2×2) з двома входами і двома виходами. Двома загальними (2×2) моделями входів-виходів багатовимірних систем є P - і V -канонічні представлення (рис. 1) [1].

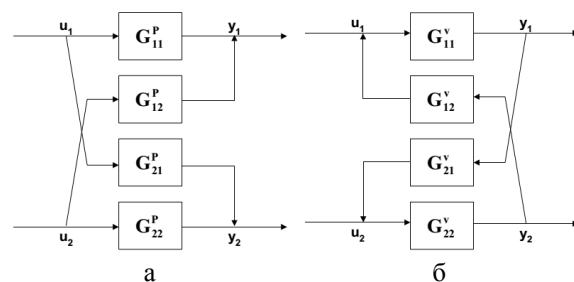


Рис. 1. Моделі входів-виходів систем (2×2) : P -канонічна форма (а) і V -канонічна форма (б)

Різницю між цими двома формами видно з рис. 1. В P -канонічній структурі, перехресні зв'язки розглядаються як прямі зв'язки в той час як в V -канонічній структурі – як зворотні зв'язки.

Всередині блоків структурних схем вказані передавальні функції, що визначають зв'язки між відповідними парами входу-виходу [1].

***P*-канонічне представлення.**

Виходи зв'язані з входами відповідно до:

$$y_1 = u_1 G_{11}^P + u_2 G_{12}^P, \quad (1)$$

$$y_2 = u_1 G_{21}^P + u_2 G_{22}^P, \quad (2)$$

де y_i – виходи системи, а u_i – керовані входи. Наведені вище співвідношення виглядають більш компактно в матрично–векторних позначеннях:

$$Y = G^P U, \quad (3)$$

$$\text{де } Y = [y_1, y_2]^T; U = [u_1, u_2]^T; G^P = \begin{bmatrix} G_{11}^P & G_{12}^P \\ G_{21}^P & G_{22}^P \end{bmatrix}.$$

***V*-канонічне представлення.**

Це представлення багатовимірних систем має наступний математичний опис:

$$y_1 = [y_2 G_{12}^V + u_1] G_{11}^V, \quad (4)$$

$$y_2 = [y_1 G_{21}^V + u_2] G_{22}^V, \quad (5)$$

або в матрично–векторній формі:

$$Y = [I - G_m^V G_i^V]^{-1} G_m^V U, \quad (6)$$

$$\text{де } G_m^V = \begin{bmatrix} G_{11}^V & 0 \\ 0 & G_{22}^V \end{bmatrix}; G_i^V = \begin{bmatrix} 0 & G_{12}^V \\ G_{21}^V & 0 \end{bmatrix}.$$

Зв'язок між *P*- та *V*- канонічними моделями.

Очевидно, що якщо система може бути змодельована з використанням як *P*– так і *V*– структури, передавальні функції обох структур повинні бути зв'язані між собою. Матриця передавальних функцій G^P *P*-канонічної форми пов'язана з матрицями передавальних функцій *V*-канонічної форми як:

$$G^P = [I - G_m^V G_i^V]^{-1} G_m^V. \quad (7)$$

Враховуючи існування двох форм моделі процесу, виникає питання про те, яке представлення є більш корисним. Не існує жорстких правил прийняття остаточного вибору. Тим не менш, наступні фактори повинні бути прийняті до уваги:

а) має бути можливість експериментального визначення параметрів моделі;

б) модель повинна відповідати процесу і, бути достатньо загальною, щоб охоплювати інші подібні процеси;

в) модель повинна надавати відповідну інформацію для проектування систем управління;

г) модель повинна бути простою.

Розглянемо спершу *V*-канонічне представлення. Отримати елементи матриць передавальних функцій G_m^V і G_i^V не можливо шляхом подачі одиничної функції на вхід розімкненої системи. Це тому, що зміна одного входу буде впливати не тільки на всі виходи але і на входи також. Тим не менше, пе-

редавальні функції, зв'язані з *V*-канонічною структурою можуть бути отримані за допомогою методів чисельної ідентифікації [1].

Процеси, як правило, залежать від зовнішніх чинників, таких як зміни навколишнього середовища або умов експлуатації. Для врахування цих ефектів, збурення навантаження також мають бути включені в модель. Рівняння *V*-канонічної моделі можуть бути розширені таким чином:

$$Y = [I - G_m^V G_i^V] [G_m^V U + G_d V], \quad (8)$$

де $G_d = \begin{bmatrix} G_{d1} & 0 \\ 0 & G_{d2} \end{bmatrix}$; $V = [v_1, v_2]^T$ – вектор збурень.

Включення збурення навантаження в *P*-канонічне представлення призводить до:

$$Y = G^P U + G_d V. \quad (9)$$

Відзначимо, що в цьому випадку кожна пара вхід-вихід однозначно визначена. Таким чином, передавальні функції матриць G^P і G_d в *P*-канонічній структурі можуть бути безпосередньо визначені з експериментів при розімкненій системі. Додатковою перевагою *P*-канонічного представлення є те, що модель є спостережуваною і керованою. Іншими словами, виходи можуть бути виміряні і входи контролюваними.

Таким чином *P*-канонічна модель є прийнятнішою, тому будемо використовувати саме її при багатofакторному аналізі систем та синтезі систем управління.

Постановка проблеми зв'язності

Розглянемо два незалежних, процеси першого порядку без запізнення, кожен з яких керується пропорційним регулятором. Характеристичні рівняння двох контурів визначаються як [1]:

$$1 + K_{p1} G_{11} = 0 \quad \text{і} \quad 1 + K_{p2} G_{22} = 0. \quad (10)$$

Оскільки системи першого порядку при пропорційному управлінні завжди є стійкими, обидва контури залишатимуться стійкими незалежно від величини коефіцієнта підсилення регулятора.

Тепер припустимо, що контури взаємодіють і динаміка взаємодії описується передавальними функціями G_{12} і G_{21} (рис. 1а). Шляхом алгебраїчних перетворень можна показати, що стійкість такої системи визначається характеристичним рівнянням:

$$(1 + K_{p1} G_{11})(1 + K_{p2} G_{22}) - G_{12} K_{p2} G_{21} K_{p1} = 0. \quad (11)$$

Це рівняння показує, що система буде стійкою тільки для діапазону значень коефіцієнтів підсилення пропорційних регуляторів. Таким чином, взаємодія контурів може привести до нестійкої роботи, якщо вони не будуть прийняті до уваги при проектуванні системи управління.

Проблему, пов'язану зі зв'язністю контурів управління можна сформулювати формально [3]:

Якщо стійкий стан або динамічне підсилення заданої регульованої змінної змінюється у відповідь на зміну у заданій керуючій змінній, коли інші (початково розімкнені) контури замкнені, то в системі існує зв'язність. Якщо регулятор контуру був налаштований вручну, налаштування буде неправильним, коли всі інші контури будуть налаштовані автоматично через їх вплив на коефіцієнт підсилення цього конкретного контуру управління. Залежно від ступеня взаємодії це призведе до втрати стійкості або, принаймні, до погіршення характеристик перехідного процесу.

Проблема зв'язності контурів може бути вирішена шляхом правильного вибору пар входу-виходу, таких, що вплив зв'язності буде зведено до мінімуму. Для розглянутої системи (2×2) це досить просто. Наприклад, якщо u_1 в парі з u_2 , то іншою парою, очевидно, є u_2 з u_1 . Якщо ці пари не забезпечують необхідної продуктивності, то наступною комбінацією явно є u_1 з u_2 і u_2 з u_1 . Системи більшої розмірності дають більшу кількість можливих комбінацій пар входу-виходу для управління. Наприклад, система розмірності ($n \times n$) має до $n!$ можливих пар входу-виходу. Тому важливо мати можливість кількісно оцінити ступінь взаємодії контурів управління. Ця інформація потім може бути використана для побудови схеми управління з мінімальною зв'язністю. Однею з таких методик є техніка аналізу відносних коефіцієнтів підсилення.

Масив відносних коефіцієнтів підсилення

Методика відносних коефіцієнтів підсилення є не тільки цінним інструментом підбору пар змінних управління, вона також використовується для прогнозування поведінки керованих реакцій [2, 4]. Аналіз будується навколо отримання масиву відносних коефіцієнтів підсилення (МВКП, RGA, Relative Gain Array). Для оцінки концепції відносних коефіцієнтів підсилення, побудуємо МВКП для системи, представленої (2×2) Р-канонічною формою.

Нехай K_{ij} буде коефіцієнтом підсилення відповідної передавальної функції G_{ij} . Якщо при u_i , що залишається постійним, стрибкоподібна зміна входу u_j на величину Δu_j призводить до зміни на Δu_i виходу u_i , то коефіцієнт підсилення між u_j і u_i визначається за формулою:

$$K_{ij} \Big|_{u_i=\text{const}} = \frac{\Delta u_i}{\Delta u_j} \Big|_{u_i=\text{const}} \quad (12)$$

Встановимо константою u_i , шляхом замикання контуру між u_j і u_i . Тоді стрибкоподібна зміна входу u_j на величину Δu_j призведе до іншої зміни виходу

u_i . Коефіцієнт підсилення при цій сукупності умов визначається:

$$K_{ij} \Big|_{y_j=\text{const}} = \frac{\Delta y_i}{\Delta u_j} \Big|_{y_j=\text{const}} \quad (13)$$

Хоча отримані коефіцієнти підсилення зв'язують ту ж саму пару змінних, вони можуть мати різні значення, бо були отримані при різних умовах. Якщо існує зв'язність, то зміна u_i від зміни u_j для цих двох випадків будуть різними. Відношення

$$\lambda_{ij} = K_{ij} \Big|_{u_i=\text{const}} / K_{ij} \Big|_{y_j=\text{const}} \quad (14)$$

де λ_{ij} є безрозмірною величиною, визначає відносний коефіцієнт підсилення між виходом u_i і входом u_j і відразу дає наступну інформацію:

а) Якщо $\lambda_{ij} = 0$, то зміна u_j не впливає на u_i , отже, не повинен використовуватися для управління u_i .

б) Якщо $\lambda_{ij} = 1$, це означає, що $K_{ij} \Big|_{u_i=\text{const}}$ і

$K_{ij} \Big|_{y_j=\text{const}}$ мають ті ж самі значення. Таким чином,

за визначенням, коефіцієнт посилення між виходом u_i і входом u_j не залежить від контуру між u_j і u_i , тобто зв'язності немає.

Матриця елементів λ_{ij} утворює МВКП. Для системи ($n \times n$) вона має вигляд:

$$\Lambda = \begin{bmatrix} \lambda_{11} & \lambda_{12} & \dots & \lambda_{1n} \\ \lambda_{21} & \lambda_{22} & \dots & \lambda_{2n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ \lambda_{n1} & \lambda_{n2} & \dots & \lambda_{nn} \end{bmatrix} \quad (15)$$

Елементи МВКП мають такі властивості:

а) сума елементів кожного стовпця дорівнює одиниці, $\sum_{i=1}^n \lambda_{ij} = 1, j = 1, 2, \dots, n;$

б) сума елементів кожного рядка дорівнює одиниці $\sum_{j=1}^n \lambda_{ij} = 1, i = 1, 2, \dots, n.$

Описаний вище спосіб побудови МВКП базується на даних, отриманих під час експериментальних вимірів. Також можливе аналітичне визначення МВКП. Можна показати, що для системи розмірності ($n \times n$) з матрицею коефіцієнтів підсилення K , МВКП може бути обчислена як:

$$\Lambda = K \circ (K^T)^{-1} \quad (16)$$

де \circ – оператор, що позначає поелементне множення елементів матриць.

При побудові МВКП можуть виникнути наступні випадки (для випадку системи (2×2)):

а) Якщо $\lambda_{11} = 0$, то МВКП має діагональ з нулів і одиничні не діагональні елементи. Це вказує на те, що управління системою може бути досягнуто тіль-

ки шляхом утворення пар u_1 з u_2 і u_2 з u_1 . Результуюча система управління при цьому є незв'язною.

б) Якщо $\lambda_{11} = 1$, то система складається з незалежних контурів $u_1 - u_1$ і $u_2 - u_2$. При цьому u_1 не може бути використаний для управління u_2 , а u_2 не може бути використаний для управління u_1 .

в) Якщо $\lambda_{11} = 0,5$, то обидва керованих входи впливають на обидва виходи однаково. Це відображає найгірший випадок – незалежно від того, які пари використовуються, ступінь зв'язності буде однаковою.

г) Якщо $0 < \lambda_{11} < 0,5$, то діагональні елементи МВКП менші 0,5, а недіагональні елементи – більші. Більші елементи вказують на більш придатні пари входу–виходу, а саме u_1 з u_2 і u_2 з u_1 .

д) Якщо $0,5 < \lambda_{11} < 1$, то виникає випадок, протилежний випадку г), найбільш придатними парами будуть u_2 з u_2 і u_1 з u_1 .

е) Якщо $\lambda_{11} > 1$, то недіагональні елементи МВКП будуть негативними. Це означає, що зміна u_1 від зміни u_1 зменшується, якщо контур між u_2 і u_2 замкнений. Іншими словами, контрольований перехідний процес стримується впливом іншого контуру. Чим більший відносний коефіцієнт підсилення одиниці, тим більшим буде цей ефект. Тому зазначені пари входів–виходів потребують використання великих коефіцієнтів підсилення регуляторів. Альтернативні пари u_1 з u_2 , і u_2 з u_1 не можуть бути використані, оскільки відповідні відносні коефіцієнти підсилення є негативними. Це означає, що в результаті взаємодія контурів буде уводити контрольовані виходи в напрямку, протилежному від того, якого намагається досягнути управління. В результаті цього управління втрачається.

Наведені вище випадки разом з відповідними правилами вибору пар входу–виходу не охоплюють всі можливі випадки. Строгий аналіз має включати розгляд систем, де кількість входів відрізняється від кількості виходів, або у системі наявні збурення. Знаки коефіцієнтів підсилення моделі процесу також є важливими факторами в аналізі МВКП. Тим не менш, можна сформулювати загальне правило для вибору контурів управління: контури управління повинні мати пари входів–виходів, які мають

додатні відносні коефіцієнти підсилення, які мають значення якомога ближчі до одиниці.

Використання відносних коефіцієнтів підсилення для визначення кращих пар входу–виходу для багатовимірного управління призводить до того, що називається стратегією управління домінуючої взаємодії. Існують і інші методи, наприклад, засновані на декомпозиції годографа системи або частотні методи, які також прагнуть досягти мінімальної взаємодії між контурами управління. Хоча методи, засновані на аналізі відносних коефіцієнтів підсилення базуються переважно на дослідженні статичних характеристик, однак, вони є досить популярними через інтуїтивний характер цих підходів.

Висновок

Область застосування багатовимірного управління є дуже широким і охопити всі аспекти цієї теми досить складно. В статті розглянуті проблеми, пов'язані з взаємозв'язаними контурами управління, та доцільність застосування відносно простого методу розв'язання цих проблем, а саме побудови системи управління з доміантними зв'язками за допомогою аналізу відносних коефіцієнтів підсилення.

Список літератури

1. *Tham M.T. Multivariable control: an introduction to decoupling control. An Introduction to Decoupling Control, MIT, July 1999.*
2. *Bristol, E.H. On a new measure of interaction for multivariable process control. IEEE Trans. on Auto. Control, 1966, AC-11, pp133-134.*
3. *Shinskey, F.G. Process Control Systems. 2nd Ed., McGraw Hill, 1979.*
4. *Shinskey, F.G. Predict distillation column response using relative gains. Hydrocarbon Processing, May, 1981*
5. *Ким Д.П. Теория автоматического управления. Т. 2 Многомерные, нелинейные, оптимальные и адаптивные системы. Учеб. пособие / Д.П. Ким. – М.: ФИЗМАТ-ЛИТ, 2004. – 464 с.*
6. *Остапенко Ю.О. Идентификация та моделювання технологічних об'єктів керування / Ю.О. Остапенко. – К: Задруга, 1999. – 420 с.*

Надійшла до редколегії 30.6.2016

Рецензент: д-р техн. наук, проф. С.В. Козелков, Державний університет телекомунікацій, Київ.

АНАЛИЗ МНОГОМЕРНЫХ СИСТЕМ С ПОМОЩЬЮ МАССИВА ОТНОСИТЕЛЬНЫХ КОЭФФИЦИЕНТОВ УСИЛЕНИЯ

Р.В. Захарченко

В статье рассмотрена возможность применения массива относительных коэффициентов усиления для анализа многомерных систем и построения систем управления с доминантными связями.

Ключевые слова: многомерные системы, относительные коэффициенты усиления, матрица передаточных функций, каноническое представление.

MULTIVARIABLE SYSTEMS ANALYSIS WITH RELATIVE GAIN ARRAY

R.V. Zaharchenko

The article considers the possibility of relative gain array using for multivariable systems analysis and dominant interaction control systems design.

Keywords: multivariable system, relative gain array, transfer functions matrix, canonical representation.

УДК 621.313.33

Б.Т. Кононов, А.О. Нечаус, Н.М. Куравська, Р.Б. Галелюк

Харківський національний університет Повітряних Сил імені Івана Кожедуба, Харків

ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ ДУГОСТАТОРНОГО АСИНХРОННОГО ЕЛЕКТРИЧНОГО ДВИГУНА З КОРОТКОЗАМКНЕНИМ РОТОРОМ

Викладаються результати імітаційного моделювання, в ході якого з'ясується вплив параметрів дугостаторного асинхронного двигуна з короткозамкненим ротором на його характеристики.

Ключові слова: імітаційне моделювання, дуго статорний асинхронний електричний двигун з короткозамкненим ротором, параметри двигуна.

Вступ

Дугостаторний асинхронний електричний двигун з короткозамкненим ротором є перспективним виконавчим пристроєм безредукторних електроприводів, які доцільно використовувати в системах обертання антен РЛС.

Аналіз літератури. В сучасній літературі [1 – 3] в якості основного типу регульованого асинхронного електроприводу з двигунами з короткозамкненим ротором розглядається частотно-регульований електропривод, який дозволяє задовольняти вимоги як по діапазону, так і по якості регулювання частоти обертання та відпрацьовувати потрібні закони руху. При використанні в якості приводного двигуна дугостаторного асинхронного двигуна з короткозамкненим ротором [4], відкритим залишається питання щодо можливості адекватної заміни типу двигуна зі збереженням або покращенням відповідних характеристик.

Метою статті є визначення впливу параметрів дугостаторного асинхронного двигуна на його характеристики для формалізації керуючих впливів системи керування, які забезпечать задані показники надійності та точності роботи двигуна у складі електроприводу.

Основний матеріал

При роботі дугостаторного асинхронного двигуна в умовах його живлення від зовнішньої мережі можливі різного роду негативні впливи, які приводить до відхилення параметрів електричної енергії від номінальних значень. Для своєчасного реагування на відхилення параметрів живлячої напруги від номінальних значень, а також для забезпечення реалізації заданого алгоритму роботи та точності його відпрацювання, в електроприводі передбачають систему керування, керуючі впливи якої спрямовані на реалізацію вимог щодо роботи двигуна.

Для з'ясування процесів, що можуть мати місце під час роботи приводу в умовах збурень, про-

ведено імітаційне моделювання. Дослід проведено на математичній моделі, побудованій в середовищі Matlab.

Адекватність даної моделі, відповідність математичних та натурних дослідів, проведених раніше, відповідають умовам подібності та доведені у [5].

В результаті дослідів отримані часові діаграми основних робочих параметрів двигуна, які представлені на рис. 1 – 4.

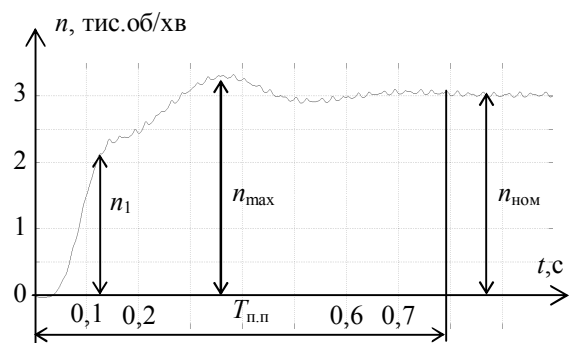


Рис. 1. Часова діаграма швидкості обертання двигуна

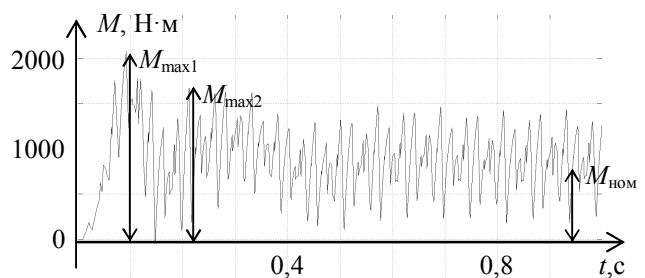


Рис. 2. Часова діаграма механічного моменту на валу двигуна

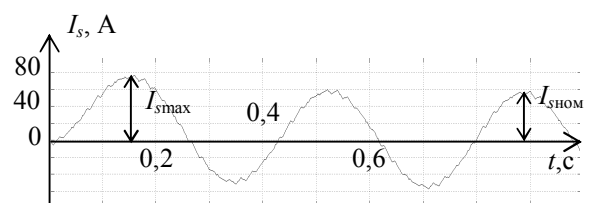


Рис. 3. Часова діаграма струму статора

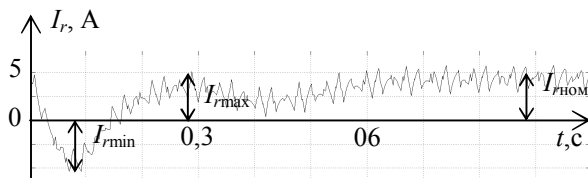


Рис. 4. Часова діаграма струму ротора

На діаграмах позначені деякі характеристики, які бралися до уваги при визначенні впливу збурюючих дій на вигляд часових діаграм. Для аналізу та узагальнення результатів дослідів використовувалися коефіцієнти:

- коефіцієнт відносної зміни параметра залежно від збурюючого впливу

$$\alpha_{P,Q} = \frac{\Delta Q}{\Delta P} = \frac{Q_{\max} - Q_{\min}}{P_{\max} - P_{\min}}, \text{ в.о.}, \quad (1)$$

де ΔQ – зміна параметра Q (наприклад, максимальне значення струму статора $I_{\text{стmax}}$, номінальна усталена частота обертання двигуна $n_{\text{ном}}$, тощо) при зміні збурюючого впливу ΔP (наприклад, вхідна напруга U , частота вхідної напруги f , тощо);

- коефіцієнт зміни параметра відносно номінального значення залежно від збурюючого впливу

$$\beta_{P,Q} = \frac{\Delta Q}{Q_{\text{ном}}}, \text{ в.о.}, \quad (2)$$

де $Q_{\text{ном}}$ – значення параметра за розрахункових значень збурюючого впливу.

Як збурюючі впливи для дугостаторного асинхронного двигуна з короткозамкненим ротором при дослідженні обрані параметри вхідної напруги живлення (діюче значення та частота), а також параметри механічного навантаження на валу двигуна. Як під час імітаційного моделювання розглядалась можливість зміни конструктивних параметрів двигуна, що може зніматися в процесі виробництва, налагодження та технічного обслуговування при експлуатації.

До таких параметрів віднесені активні опори та індуктивності статорної і роторної обмоток двигуна, а також їх взаємна індуктивність.

Як характеристики та показники дугостаторного асинхронного двигуна, які визначають його роботу у складі керованого електроприводу обрані частота обертання валу, механічний момент на валу двигуна, струми статора та ротора. Для вказаних характеристик обрані характерні екстремальні та часові значення, які визначають роботу двигуна в пускових та перехідних режимах, і є показниками його ефективності.

На підставі обробки дослідних даних проведено оцінку впливу збурюючих величин на характеристики та показники двигуна.

Наприклад, зроблено висновок, що найбільший вплив на частоту обертання двигуна мають

взаємна індуктивність обмоток m і частота живлячої напруги f :

коефіцієнти

$$\alpha_{m,n} = 1,4, \alpha_{f,n} = 0,42,$$

$$\beta_{m,n} = 0,59, \beta_{f,n} = 0,72.$$

Найменший вплив на частоту обертання двигуна має діюче значення живлячої напруги U :

коефіцієнти

$$\alpha_{U,n} = 0,006, \beta_{U,n} = 0,24.$$

Графічні залежності, які ілюструють сказане, наведені на рис. 5, де показані ламані лінії, які з'єднують дослідні значення, та апроксимуючі їх криві.

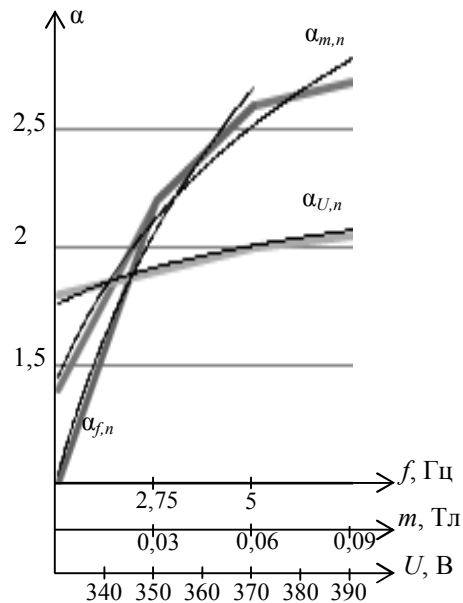


Рис. 5. Залежність частоти обертання двигуна при зміні збурюючих впливів

З рисунку видно, наскільки відмінний нахил діаграм для різних вхідних збурень.

На підставі дослідних даних з'ясовано, що такі параметри обмоток статора і ротора (їх активні опори та індуктивності) як менш впливові у порівнянні з моментом опору.

Таким чином, основного керуючого впливу в якості за допомогою якого слід здійснювати регулювання частоти необхідно прийняти частоту живлячої напруги, а для зміни момента, що обертає, слід змінювати струм статора або напруги живлення. Під час регулювання та стабілізації частоти обертання дугостаторного двигуна управління його роботою повинно враховувати те, що керуючі впливи за частотою та моментом повинні бути узгоджені.

Виходячи з аналізу дослідних даних, поділивши визначені відносні коефіцієнти на три групи за значущістю, результати дослідів можна представити у вигляді табл. 1.

В таблиці позначені:

«+» суттєвий вплив,

«+/-» – несуттєвий вплив,

«-» – практично не впливає.

З таблиці видно, що найбільш залежними від зовнішніх параметрів та параметрів двигуна є механічний момент на валу та струм ротора.

Таблиця 1

Чинники, що впливають на роботу двигуна

	I_s	I_r	M	n	$T_{п.п}$
U	+/-	+/-	+	-	-
f	+	+	+/-	+	+
M_0	-	+/-	+	-	-
R_s	+	+	+	+/-	-
L_s	+	+	+	+/-	+/-
m	+/-	+/-	+	+	+/-

Найбільш стійкими для тих же чинників є частота обертання двигуна та тривалість перехідного процесу.

Також, з табл. 1 можна зробити висновок, що найбільш універсальним керуючим впливом можуть бути такі:

частота живлячої напруги,

індуктивність статорної обмотки;

взаємна індуктивність обмоток двигуна.

Висновки

1. Імітаційне моделювання дає підстави створювати, що параметри дугостаторного асинхронного електричного двигуна розраховані правильно, оскільки зміни їх значень в діапазоні від 0,9 до 1,2 від номіналу не викликає суттєвих змін характеристик двигуна.

2. Під час імітаційного моделювання встановлено, що при регулюванні та стабілізації частоти обертання слід узгоджувати керуючі впливи за частотою живлячої напруги та її величиною, або між частотою живлячої напруги і статорним струмом двигуна.

3. Результати моделювання підтверджують загальноприйняті положення теорії асинхронного електроприводу, що свідчить про адекватність імітаційної моделі та підкреслює доцільність використання частотно-регульованих систем керування для дугостаторного асинхронного двигуна з короткозамкненим ротором.

Список літератури

1. Системы управления электроснабжением и электроприводом. Учебник / Б.Ф. Самойленко, Б.Т. Кононов, П.М. Пушков и др. – М.: МО СССР, 1990. – 415 с.

2. Системы автономного электроснабжения / Б.Ф. Самойленко, Б.Т. Кононов, Ю.А.Скворцов и др. – М.: МО СССР, 1990. – 327 с.

3. Электропитания и электрооблання військових об'єктів. Підручник. Частина 1 / В.Б. Толубко, Б.Т. Кононов, Б.Ф. Самойленко, М.І. Григоров. – М.: МО України, 1998. – 374 с.

4. Кононов Б.Т. Система керування частотно-регульованим електроприводом на базі асинхронного електричного двигуна / Б.Т. Кононов, А.О. Нечаус, Н.М. Рябуха // Збірник наукових праць Харківського національного університету Повітряних Сил. – 2014. – № 3 (40). – С. 136-140.

5. Кононов Б.Т. Імітаційна модель електропривода антени радіолокаційної станції / Б.Т. Кононов, Б.Г. Любарський, Н.М. Куравська // Системи обробки інформації. – 2016. – Вип. 9(146). – С. 23-27.

Надійшла до редколегії 28.7.2016

Рецензент: д-р техн. наук, проф. В.М. Більчук, Харківський національний університет Повітряних Сил імені Івана Кожедуба, Харків.

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ДУГОСТАТОРНОГО АСИНХРОННОГО ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЯ С КОРОТКОЗАМКНУТЫМ РОТОРОМ

Б.Т. Кононов, А.А. Нечаус, Н.Н. Куравский, Р.Б. Галелюк

Излагаются результаты имитационного моделирования, в ходе которого выясняется влияние параметров дугостаторного асинхронного двигателя с короткозамкнутым ротором на его характеристики

Ключевые слова: имитационное моделирование, дугостаторный асинхронный электрический двигатель с короткозамкнутым ротором, параметры двигателя.

EXPERIMENTAL STUDIES ARC STATOR ASYNCHRONOUS ELECTRIC MOTOR WITH SQUIRREL CAGE

В.Т. Kononov, A.O. Nechaus, N.M. Kuravska, R.B. Galelyuka

We present the results of simulation, in which it appears the influence of parameters arc stator induction motor with squirrel cage on its characteristics

Keywords: simulation, arc stator asynchronous electric motor with cage rotor, engine parameters.

УДК 623.418 : 621.396

В.М. Ліщенко, В.В. Чалий, А.Д. Карлов

Харківський національний університет Повітряних Сил імені Івана Кожедуба, Харків

МАЛОРОЗМІРНІ БЕЗПІЛОТНІ ЛІТАЛЬНІ АПАРАТИ ЯК ОБ'ЄКТИ РАДІОЛОКАЦІЙНОЇ РОЗВІДКИ

В сучасних мережецентричних та гібридних війнах, під час ведення антитерористичної операції (АТО) на сході України основною тенденцією застосування перспективних засобів повітряного нападу є використання на малих та гранично малих висотах, як правило, безпілотних літальних апаратів. В роботі проаналізуємо основні льотно-технічні характеристики існуючих та перспективних безпілотних літальних апаратів, можливості по виявленню малорозмірних цілей сучасними засобами радіолокаційної розвідки.

Ключові слова: засоби радіолокації, безпілотні літальні апарати, мережецентрична війна, гібридна війна, мала висота польоту, радіолокаційне поле, радіолокаційна система.

Вступ

Постановка проблеми у загальному вигляді.

Відомо, що сучасною тенденцією є широке застосування безпілотних літальних апаратів (БПЛА) в глобальних системах розвідки світу [1].

За останні роки розроблено багато БПЛА різних класів і типів, які активно використовувалися практично в усіх останніх збройних конфліктах. Важливою рисою сучасних збройних конфліктів є концепція ведення адаптивних розвідувально-ударних бойових дій за допомогою малорозмірних, малопомітних засобів повітряного нападу, яка відповідає вимогам безконтактних війн, форми, способи та структура яких можуть створюватися та уточнюватися у реальному масштабі часу в залежності від обстановки. Виявлення подібних об'єктів ускладняється фактом застосування їх на малих або гранично малих висотах із використанням особливостей рельєфу місцевості [1 – 4]. Наразі БПЛА представляють достатньо серйозну проблему. Фактично самий логічний спосіб позбутися ворожого безпілотника - знищити його. При цьому для знищення може використовуватися різне озброєння. Так, невеликі легкі БПЛА (а їх абсолютна більшість з тих, що використовуються, наприклад, в зоні ведення антитерористичної операції (АТО) на сході України) можуть бути збиті за допомогою стрілецької зброї, що і демонстрували підрозділи Збройних Сил України не раз - однак для цього були потрібні колосальні зусилля і витрата боєприпасів, при цьому власне потрапляння в апарат не гарантувало його збиття (відомі випадки втрат БПЛА демонстрували ураження двигуна або акумулятора).

Альтернативними засобами ураження БПЛА можуть бути гарматні зенітні установки, які можуть створювати досить велику щільність вогню. Прикладом гарматної зенітної установки є зенітна самохідна установка ЗСУ-23-4 «Шилка» - з радаром і

чотириствольний 23-мм гарматами. Однак, основною проблемою є виявлення БПЛА в ЗСУ-23-4 «Шилка».

З урахуванням [5] зростаючої важливості застосування малорозмірних БПЛА актуальним є питання аналізу їх основних льотно-технічних та тактико-технічних характеристик (ТТХ) як об'єктів радіолокаційного виявлення існуючими засобами угруповання радіотехнічних військ (РТВ).

Мета статті – аналіз ТТХ БПЛА, оцінка можливостей та формулювання пропозицій щодо їх ефективного виявлення.

Аналіз останніх досягнень і публікацій. Відомо [6, 7], що основними напрямками розвитку сучасних БПЛА є:

- зниження відбиття від поверхні або збільшення поглинання радіохвиль. Для цього поверхня літального апарату покривається електрохроматичним полімером, який істотно знижує відбиття радіохвиль від металевої поверхні;
- створення аеродинамічних поверхонь і радіопоглинаючих покриттів на гелієвій основі, що в значній мірі знижує ймовірність виявлення БПЛА радіолокаційними системами;
- виконання значної частини конструкції БПЛА з композитів та полімерних матеріалів;
- використання при проектуванні двигуна апарату - основного джерела інфрачервоного випромінювання, керамічного покриття, також фахівці домагаються зниження габаритів двигуна.

Технології зниження помітності – це комплекс методів зниження помітності бойових машин в радіолокаційному, інфрачервоному та інших областях спектра виявлення за допомогою спеціально розроблених геометричних форм і радіопоглинаючих матеріалів і покриттів, що різко зменшує радіус виявлення і тим самим підвищує живучість бойової машини. Слід зазначити, що значного поглинання радіохвиль можливо досягти тільки в сантиметровому

діапазоні, і набагато гірше в дециметровому. В силу фізики розповсюдження радіохвиль зробити об'єкт малопомітним в метровому діапазоні, коли довжина хвилі одного порядку з власними розмірами об'єкта, зміною його форми в принципі неможливо. Також неможливо досягти повного поглинання будь-якого радіовипромінювання падаючого на об'єкт під довільним кутом, тому головною метою при виборі форми є відбиття хвиль в сторону від випромінювача - таким чином частина сигналу поглинається спеціальними покриттями, а інша частина відбивається в сторону, не дозволяючи луна-сигналу повернутися до радіолокаційної станції (РЛС) (що особливо ефективно проти суміщених приймально-передавальних станцій).

Основні чинники, що зумовлюють складність виявлення БПЛА, є такі [1, 2, 6, 7]:

- невелика маса і габарити і, як наслідок, мала дальність виявлення;
- незначні величини ефективної площі розсіювання (0,01-0,1 м²) і теплової контрастності;
- мала вразливість конструкцій несучих поверхонь від вогневого впливу засобів вогневого ураження;
- досить широкий діапазон швидкості польоту (10-30 м/с);
- наявність можливостей для придушення і самостійного ураження засобів протиповітряної оборони (ППО) сухопутних військ (СВ);
- здатність наводити на засоби ППО ударні літаки, вертольоти і артилерію;
- можливість польоту на гранично малих висотах (до 200 м).

Основний матеріал

Малорозмірні БПЛА характеризуються малими геометричними розмірами, низькою тепловою контрастністю і швидкістю польоту, а також малою ЕПР, що не дозволяє забезпечити достатньо ефективне їх виявлення [1, 2, 7, 8].

Незаперечні переваги сучасних БПЛА привели до їх інтенсивної розробки і масового застосування в провідних країнах НАТО та Росії. Визнаними лідерами в розробці і виробництві БПЛА військового призначення є США і Ізраїль. При цьому розширюється перелік завдань, що вирішуються: поряд з розвідувальними БПЛА стали широко застосовуватися ударні, а також БПЛА для ведення радіоелектронної боротьби та інші. В останні роки, у зв'язку з різким зростанням ролі БПЛА в бою, а також високими темпами наростання їх чисельності, в арміях провідних західних країн стали створюватися спеціальні бойові авіаційні частини БПЛА (авіаційні крила).

До малорозмірних відносять [1, 2, 6, 7] «нано-БПЛА» (nano-БПЛА) з дальністю дії менше 1 км і масою менше 0.025 кг; «мікро-БПЛА» (μ-БПЛА) з

дальністю дії до 10 км; «міні-БПЛА» (mini-БПЛА) – до 20 км. У більшості випадків указані БПЛА використовуються для ведення оперативної повітряної розвідки в реальному часі за допомогою стабілізуючої фото і відеоапаратури, а також інфрачервоних камер. Навігація здійснюється за допомогою сигналів GPS. Політ виконується або по командах оператора, або автоматично на автопілоті по замкнутому маршруту (проте, з можливістю оператора втрутитися в управління в будь-який момент). Малорозмірні БПЛА найчастіше оснащені електродвигуном з акумуляторним живленням або поршневым двигуном з малою витратою палива. У конструкції широко використані композиційні радіопрозорі матеріали. Класифікація БПЛА за ТТХ представлена в табл. 1.

Таблиця 1
Класифікація БПЛА за ТТХ

Тип БПЛА	Злітна маса, кг	Дальність польоту, км	Висота польоту, м	Тривалість польоту, год.
Нано	до 0,025	до 1	до 150	до 0,5 год.
Мікро	до 3	до 10	до 250	до 1,5 год.
Міні	до 30	до 20	150-250	до 2,5 год.
Легкі	30-200	30-70	до 3000	2-6 год.
Середні	до 2500	70-500	5000-14000	6-50 год.
Висотні	4500-12000	Більше 2000	до 20000	24-50 год.

Під час ведення АТО зафіксовано масоване використання незаконними збройними формуваннями сучасних БПЛА російського виробництва, які активно використовувалися з метою ведення оперативно-тактичної і тактичної розвідок, встановлення радіоперешкод та виконання інших спеціальних завдань, зокрема й ударного характеру.

Наприклад, зафіксовано використання російських БПЛА таких типів, як «Орлан-10», «Дозор-100», «Дозор-600», «Гранат-4», «Форпост» з глибиною розвідки до 300 км. Злітають ці апарати з території Росії за 15–20 км до державного кордону України. Час їхнього перебування над українською територією може сягати до 16 годин. Крім того, застосовуються неідентифіковані тактичні БПЛА з глибиною розвідки до 5–10 км. з метою ведення оперативно-тактичної розвідки, тактичної розвідки, постановки радіоперешкод та виконання інших спеціальних завдань [6, 7]. Проведемо детальний аналіз цих та інших БПЛА.

Розвідувальний малогабаритний комплекс «Искатель» (рис. 1) на сьогодні – єдиний переносний комплекс ближньої дії, що створюється в інтересах мотострілецьких військ СВ, повітряно-десантних військ та підрозділів спеціального призначення [7, 8].



Рис. 1. Розвідувальний БПЛА Т-4 розвідувального малогабаритного комплексу «Искатель»

Основне призначення – індивідуальний засіб проведення розвідки і спостереження розвідгрупи. Основний розробник – міжнародна корпорація «Развитие», роботи проводяться на Омському радіозаводі. Весь комплекс розмістять в одному контейнері (типу ГК-30) загальна вага не буде перевищувати 10 кг. Розвідкомплекс стане штатною одиницею оснащення розвідгрупи або взводу.

Особливістю реалізації зв'язку з БПЛА в повітрі є використання висувної антени з переносного рюкзака, що не прив'язує десантників до місця установлення стаціонарної виносної антени.

Розвідкомплекс «Искатель» містить:

- базову станцію з антеною;
- планшетний комп'ютер;
- не менше двох БПЛА Т-4.

БПЛА служать для забезпечення проведення розвідки та збору інформації в радіусі 8 км. Основне призначення БПЛА є точне визначення координат об'єктів і коригування вогню артилерії повітряно-десантних військ. Орієнтовна вартість одного комплексу «Искатель» складає 3 мільйони рублів.

Безпілотний авіаційний комплекс «Груша» (рис. 2) – російська розробка, призначена для частин і підрозділів повітряно-десантних військ та військ спеціального призначення. Кожен БПЛА оснащений двома цифровими камерами, які здатні знімати зображення у візуальному діапазоні [7, 8].



Рис. 2. БПЛА «Груша» під час запуску

«Груша» оснащена електричним дволопатеvim двигуном і може знаходитися в повітрі близько півтори години. За цей час апарат може подолати де-

сять кілометрів на висоті від п'ятисот до тисячі метрів і повернутися назад. Робоча дальність 5–10 км, робоча висота становить 50–3000 м над рівнем підстилюючої поверхні, але найчастіше апарати використовуються на висотах 100–500 метрів. Перешкодою для роботи може стати тільки вітер, швидкість якого під час запуску не повинна перевищувати 12 м/с (з поривами до 15 м/с).

Передача відеосигналу можлива тільки за умов прямої видимості; при роботі в гірських місцевостях краще використовувати накопичувач інформації. Час безперервного знаходження в повітрі –75 хвилин.

Тактичний безпілотний авіаційний комплекс ZALA 421-16 (рис. 3) є комплексом подвійного призначення і вирішує завдання дистанційного моніторингу, спостереження в широкому діапазоні метеоумов підстилюючої поверхні (в тому числі складного рельєфу місцевості, водної поверхні), пошуку й виявлення об'єктів [7, 8]. Основні ТТХ БПЛА ZALA 421-16 наведено в табл. 2.



Рис. 3. БПЛА ZALA 421-16

Таблиця 2

Основні ТТХ БПЛА ZALA 421-16

Назва характеристики	Значення
Радіус дії відео/ радіо-каналу, км	50/70
Тривалість польоту, год.	4 або 8
Макс. висота польоту, м	3 000
Зліт	Пневматична катапульта
Посадка	Парашут
Тип двигуна	ДВЗ
Швидкість, км/год	130 – 200
Макс. злітна маса, кг	16
Розмах крила, мм	1 680
Навігація	Навігаційна система GPS/ГЛОНАСС, радіодалекомір
Цільові навантаження	Фото-, відеокамери, тепловізор
Планер	Літаюче крило
Діапазон температур, °С	Від –30 до +40

Забезпечує отримання та передачу в режимі реального часу телевізійних і тепловізійних зображень місцевості, визначає координати об'єктів спостереження, виконує функції ретранслятора, здійснює збір, накопичення та обробку інформації.

Комплекс з БПЛА ZALA 421-16 є ефективним засобом ведення масштабної аерофотозйомки. Можливе використання БПЛА для ведення повітряної розвідки та спостереження за противником і місцевістю, здійснення цілевказання, корегування вогню вогневих засобів і виконання інших завдань в інтересах тактичної ланки.

Дана модель БПЛА у своєму класі відрізняється високою тривалістю безперервного польоту – 4 години (при двотактному двигуні) і 8 годин (при чотиритактному двигуні) та великою швидкістю польоту – 130–200 км/год.

Багатофункціональні безпілотні комплекси серії «Орлан». Основними зразками серії «Орлан» є:

- «Орлан-1» (мікро, відділення – взвод – рота);
- «Орлан-3М» (міні, рота – батальйон);
- «Орлан-10» (тактичний, батальйон – полк/бригада);
- «Орлан-30» (оперативно-тактичний, полк/бригада – дивізія).

Безпілотний авіаційний комплекс «Орлан-3М» (рис. 4) призначений для виконання панорамної і планової фото- та відео зйомки місцевості [7, 8].

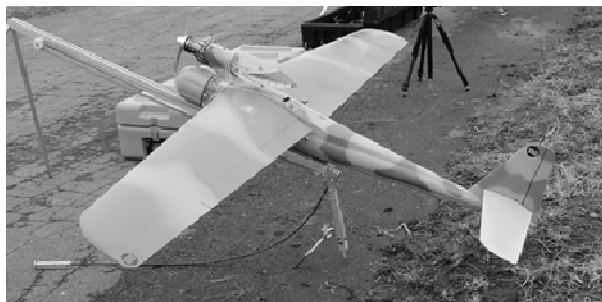


Рис 4. БПЛА «Орлан-3М»

Основні характеристики БПЛА «Орлан-3М» наведені у табл. 3

Таблиця 3

Основні ТТХ БПЛА «Орлан-3М»

Назва характеристики	Значення
Двигун	Внутрішнього згоряння (метанол)
Маса, кг	7
Маса корисного навантаж., кг	До 1,8
Швидкість польоту, км/год	70 – 150
Тривалість польоту, год	3
Тактичний радіус, км	100
Гранична висота, км	7
Корисне навантаження	Фото-, відео-, телекамера; тепловізор
Зліт	Катапульта
Посадка	Парашут
Діапазон температур, °С	–30...+40

БПЛА «Орлан-10» (рис. 5) призначений для контролю об'єктів у важкодоступній місцевості, може використовуватися для пошуково-рятувальних робіт [7, 8].



Рис. 5. БПЛА «Орлан-10»

БПЛА оснащений двигуном внутрішнього згоряння, що працює на звичайному бензині А-95. Старт здійснюється з розбірної катапульти, посадка – на парашуті. Максимальна швидкість – 150 км/год. Апарат відрізняє значна тривалість польоту – 16 годин. Максимальна дальність – 600 км. З одного пункту управління можна контролювати відразу 4 БПЛА «Орлан-10», при цьому один з них може служити ретранслятором даних для інших, що збільшує загальну дальність дії групи. Основні ТТХ БПЛА «Орлан-10» наведені у табл. 4.

Таблиця 4

Основні ТТХ БПЛА «Орлан-10»

Назва характеристики	Значення
Двигун	ДВЗ (метанол)
Маса, кг	14
Маса корисного навантаж., кг	До 5
Швидкість польоту, км/год	90 – 150
Тривалість польоту, год	16
Тактичний радіус, км	100
Гранична висота, км	5
Корисне навантаження	Фото-, гіростабілізована телекамера
Зліт	Катапульта
Посадка	Парашут
Діапазон робоч. температур, °С	–30...+40

Літак «Дозор-600» (рис. 6) відноситься [7, 8] до тяжких розвідувально-ударних БПЛА. За бойовими характеристиками і тактичним застосуванням його можна порівняти з американським MQ-1B. Зліт і посадка апарату здійснюються по-літаковому. Основу корисного навантаження повинні скласти: РЛС, відеокамера, тепловізор і фотокамера. При відповідному доопрацюванні «Дозор-600» зможе виконувати і ударні функції. В даний час апарат знаходиться в розробці. Невідомо, чи піде «Дозор-600» в серію, або напрацювання по ньому будуть використані для створення якихось інших, можливо, ще більших БПЛА.

Основним завданням БПЛА «Форпост» (рис. 7) є розвідка поля бою; може використовуватися для контролю бойових дій, цілевказівки і як артилерійський навідник [7, 8].



Рис 6. БПЛА «Дозор-600»



Рис 7. БПЛА «Форпост»

БПЛА «Форпост» має систему з двох незалежних гіроскопів, також дублюються датчики GPS, укомплектована багатофункціональною системою відеоспостереження з платами відеозахоплення, потужною інфрачервоною камерою з охолоджувальною матрицею високої роздільної здатності. Вартість комплексу складає близько 6 млн у.о. Основні ТТХ БПЛА «Орлан-10» наведені у табл. 5.

Таблиця 5

Основні ТТХ БПЛА «Форпост»

Назва характеристики	Значення
Двигун	Jabiru 2200
Маса, кг	454
Маса корисного навантаження, кг	до 100
Швидкість польоту, км/год	126-204
Тривалість польоту, год	17.5
Тактичний радіус, км	250
Гранична висота, км	5.8
Зліт	по-літаковому, смуга 250 м
Посадка	парашут
Діапазон робочих температур, °C	-30...+40

Квадрокоптер Inspire 1 PRO» (рис. 8) від виробника DJI - це сучасний безпілотник для аматорів повітряної відеозйомки. Вартість такого апарату близько 4 тис. у.о. БПЛА оснащений тривісним карданним підвісом для утримання камери і стабільної відеозйомки. Модульна конструкція дозволяє швидко знімати і встановлювати камеру і підвіс. Камера Zenmuse X5 записує відео в кінематографічному вирішенні 4K і фото 16 Мп. Камера може підтримувати змінні об'єктиви 12-17 мм. Ще одна можливість для операторів - це окреме управління БПЛА і камерою з різних пультів, що дозволяє включити режим автопілот і зосередитися на відеозйомці. Можливість управляти камерою з мобільного додатку.



Рис. 8. БПЛА DJI Inspire 1 PRO китайського виробництва

Режими польоту: Home Lock, Course Lock, автоматичний обліт точок по колу, Follow Me і політ по точках інтересу.

Максимальна швидкість польоту - 22 м/с. Бортовий комп'ютер розраховує дистанцію і час польоту для успішного повернення. Точна навігація по технологіям GLONASS і GPS дозволяють літати як на вулиці, так і в середині приміщень. Пульта управління містить технології управління з підтримкою двох операторів. Максимальний час польоту на одному заряді батареї - 20 хвилин.

Таким чином, проведений вище аналіз тенденцій розвитку, ТТХ основних БПЛА оперативно-тактичного та тактичного рівнів свідчить про ускладнення виявлення вказаних БПЛА існуючими засобами радіолокації РТВ. Так, наприклад, розрахункові дальності виявлення малорозмірних БПЛА РЛС РТВ при різних значеннях ефективної поверхні розсіювання (ЕПР) БПЛА складають [9]:

- РЛС метрового діапазону - 8-14 км для БЛА з ЕПР близько 0,1 м² і 0,1-1,5 км для БЛА з ЕПР, що дорівнює 0,01 м²;
- РЛС дециметрового діапазону - 9-16 км (ЕПР = 0,1 м²) і 0,8-2,0 км (ЕПР = 0,01 м²);
- РЛС сантиметрового діапазону - 12-25 км і 1,4-2,8 км відповідно.

Висновки

Результати досліджень свідчать про низьку ефективність роботи РЛС РТВ при виявленні малорозмірних БПЛА, а нерідко взагалі неможливість виявлення навіть в беззавадовій обстановці. Живучість сучасних БПЛА забезпечується малими розмірами, низьким рівнем шуму і камуфляжним забарвленням [5]. Мінімальні значення ЕПР досягаються вибором конструювання і відповідних матеріалів. Радіолокаційне виявлення цих цілей ускладнене через вплив відбитих сигналів РЛС від підстилаючої поверхні і місцевих предметів. Через малі швидкості польоту малорозмірних БПЛА відбитий сигнал може бути повністю або частково придушений системою селекції рухомих цілей. Внаслідок цього, також залишається невирішеною проблема розпізнавання малорозмірних БПЛА.

Бурхливий розвиток засобів повітряного нападу в черговий раз випередив розвиток систем озброєння ППО, перейшовши до застосування БПЛА з надзвичайно малими значеннями ЕПР. Поява на озброєнні військових угруповань міні-, мікро- і нано-БПЛА виявилася новим викликом для сучасної системи ППО військ і об'єктів. Вочевидь [10], ефективною та адекватною відповіддю було б застосування мультирадарних систем, побудованих за принципами нетрадиційних методів радіолокації, наприклад, із зовнішнім підсвічуванням. Це дозволить збільшити енергетичний потенціал системи завдяки більш ефективному (ніж в звичайних однопозиційних РЛС) використанню інформації, укладеної в просторових характеристиках електромагнітного поля; забезпечить підвищення скритності дій системи. Розвиток мультирадарних систем відповідає загальній тенденції в техніці – об'єднання окремих технічних засобів в системи, в яких завдяки спільному функціонуванню і взаємодії елементів значно поліпшуються основні характеристики і з'являються нові можливості [10, 11].

У перспективі при проектуванні мультирадарних систем будуть удосконалюватися методи обробки інформації, вирішуватися задачі синхронізації, розрахунку геометрії системи, що і є напрямками подальших досліджень.

Список літератури

1. Радецький В.Г. Безпілотна авіація в сучасній збройній боротьбі: монографія / В.Г. Радецький, І.С. Руснак, Ю.Г. Даник. – К.: НАОУ, 2008. – 224 с.
2. Малогабаритные беспилотные авиационные комплексы (Mini UAV) / Башинский В.Г., Бзот В.Б., Жилин Е.И. и др. / Монография. – Запорожье: изд. АО «Мотор-Сич», 2014. – 261 с.
3. Телелим В.М. Планування сил для виконання бойових завдань у «гібридній війні» / В.М. Телелим, Д.П. Музи-

ченко, Ю.В. Пунда // Наука і оборона. – К.: МО України, 2014. – № 3. – С. 30-35

4. Радковець Ю.І. Ознаки технологій «гібридної війни» в агресивних діях Росії проти України / Ю.І. Радковець // Наука і оборона. – К.: МО України, 2014. – № 3. – С. 36-42.

5. Теорія і практика боротьби з малорозмірними низьколітніми цілями (оцінка можливостей, тенденції розвитку засобів протиповітряної оборони): монографія / І.С. Романченко, О.М. Загорка, С.Г. Бутенко, О.В. Дейнега. – Житомир: Полісся, 2011. – 344 с.

6. Чепурний В.А. Аналіз тенденцій розвитку та застосування розвідувальних безпілотних апаратів в сучасних мереже центричних та гібридних війнах / В.А. Чепурний, М.В. Бардаков, Г.В. Худов // Наука і техніка Повітряних Сил Збройних Сил України. – Х.: ХУПС, 2015. – № 4 (21). – С. 24-28.

7. Довідник учасника АТО: озброєння і військова техніка Збройних Сил Російської Федерації / [А.М. Алімпієв, Г.В. Певцов, Д.А. Гриб та ін.]; за заг. ред. А.М. Алімпієва. – Х.: Оригінал, 2015. – 732 с.

8. Обзор комплексов беспилотных летательных аппаратов, представленных на российском и зарубежных рынках, 2011. – МВД РФ, ФКУ НИЦ «Охрана». – 30 с.

9. Ерёмин Г.В. Малоразмерные беспилотники – новая проблема для ПВО [Электронный ресурс] / Г.В. Ерёмин, А.Д. Гаврилов, И.И. Назарчук. – Тамбов, 2015. – Режим доступа: <http://www.army-news.ru/2015/02/malorazmernye-bespilotniki-novaya-problema-dlya-pvo/>.

10. Черняк В.С. Многопозиционная радиолокация / В.С. Черняк. – М.: Радио и связь, 1993. – 416 с.

11. Ковалевський С.М. Пропозиції щодо створення скритого маловисотного радіолокаційного поля в умовах ведення сучасних мережецентричних та гібридних війн / С.М. Ковалевський, Г.В. Певцов, Г.В. Худов // Наука і техніка Повітряних Сил Збройних Сил України. – Х.: ХУПС, 2015. – № 1 (18). – С. 77-81.

Надійшла до редколегії 11.09.2016

Рецензент: д-р техн. наук, проф. Г.В. Худов, Харківський національний університет Повітряних Сил ім. Івана Кожедуба, Харків.

МАЛОРАЗМЕРНЫЕ БЕСПИЛОТНЫЕ ЛЕТАТЕЛЬНЫЕ АППАРАТЫ КАК ОБЪЕКТЫ РАДИОЛОКАЦИОННОЙ РАЗВЕДКИ

В.Н. Лищенко, В.В. Чалый, А.Д. Карлов

В современных сетцентрической и гибридных войнах, во время проведения антитеррористической операции (АТО) на востоке Украины основной тенденцией применения перспективных средств воздушного нападения является использование на малых и предельно малых высотах, как правило, беспилотных летательных аппаратов. В работе проанализируем основные тактико-технические характеристики существующих и перспективных беспилотных летательных аппаратов, возможности по обнаружению малоразмерных целей современными средствами радиолокационной разведки.

Ключевые слова: средства радиолокации, беспилотные летательные аппараты, сетцентрическая война, гибридная война, малая высота полета, радиолокационное поле, радиолокационная система.

SMALL UNMANNED AERIAL VEHICLES AS OBJECTS RADAR RECONNAISSANCE

V.M. Lishchenko, V.V. Chaliy, A.D. Karlov

In modern network-centric and hybrid wars, during the anti-terrorist operation (ATO) in eastern Ukraine, the main trend of the use of advanced means of air attack is the use of small and extremely low altitudes, usually unmanned aerial vehicles. In the pro-analyze key performance characteristics of existing and future unmanned aerial vehicles, enforcement, ability to detect small targets with modern radar reconnaissance.

Keywords: means of radar, unmanned aerial vehicles, network-centric warfare, hybrid war, small height of flight, a radar-tracking field, the radar system.

УДК 629.429.3 : 621.313

О.М. Петренко

Харківський університет міського господарства імені О.М. Бекетова, Харків

ВИБІР ОПТИМАЛЬНИХ РЕЖИМІВ РОБОТИ НАПІВПРОВІДНИКОВОГО ПЕРЕТВОРЮВАЧА ДЛЯ ЖИВЛЕННЯ ТЯГОВОГО АСИНХРОННОГО ДВИГУНА

В статті наведено методику визначення оптимальних режимів роботи напівпровідникового перетворювача для живлення тягового асинхронного двигуна за критерієм ефективності приводу на підставі вирішення задачі оптимізації.

Ключові слова: асинхронний тяговий двигун, автономний інвертор напруги, оптимізація режимів роботи тягового приводу, ефективність тягового приводу.

Вступ

У ХХІ столітті електричний рухомий склад (ЕРС) залізниць створюється в основному на основі асинхронного тягового приводу (ТП) [1 – 4]. Це стало можливо завдяки високій надійності, зниженню витрат на експлуатацію та наявності апробованих технічних рішень в області напівпровідникової перетворювальної техніки [1 – 6].

Аналіз літератури. Керування тяговим приводом засноване на реалізації двох основних режимів роботи тягового двигуна: режим приблизно постійного моменту, в якому напруга живлення двигуна лінійно змінюється в залежності від частоти його обертання, і режим близький до режиму постійної потужності, в якому напруга живлення постійно [1 – 6] та двох режимів роботи напівпровідникового перетворювача – автономного інвертора напруги (АІН) – режими однократної та просторово-векторної широтно-імпульсної модуляції (ШІМ) [1 – 6]. На практиці основні режими роботи двигуна доповнені режимами струмообмеження, при малій частоті обертання та перехідними режимами [1 – 6]. Однак таке управління тяговим приводом не є оптимальним так, як структура втрат в тяговому приводі досить складна.

Мета статті: розробити методику ідентифікації режимів роботи напівпровідникового перетворювача для живлення тягового асинхронного двигуна (АТД).

Результати досліджень

Ефективність тягового приводу в певному режимі його роботи оцінюватимемо за критерієм максимуму його ККД за умови дотримання вимог, що накладаються режимами роботи. Тому завдання визначення ефективності тягового приводу зводиться по знаходженню максимуму функції ККД приводу (η). Слід зазначити що енергія, яка перетворюється електрорухомим складом, протягом перетворення проходить шлях, що визначається, в

першу чергу, структурою тягового приводу. Структура тягового приводу залежить від:

- роду струму ЕРС (постійний, змінний або багатосистемний);
- типу тягового двигуна (асинхронний, постійного струму, синхронний та інші);
- роду служби ЕРС (пасажирський, вантажний, маневровий та інший)
- типу рухомого складу (локомотив, електропоїзд, метро вагон, трамвай та інший).

На кожному з кроків перетворення енергії відбуваються її втрати, які визначаються ККД кожного з елементів приводу η_j . Загальний ККД системи перетворення енергії у рухомому складі можливо визначити як добуток ККД кожного з елементів:

$$\eta = \prod_{j=1..N_1} \eta_j \quad (1)$$

де N_1 – кількість ланок перетворення енергії, j – номер ланки. На режими роботи кожній з ланок тягового приводу впливають різні фактори. Так, наприклад, на режими роботи вхідного перетворювача впливають в першу чергу процеси у тяговій мережі, на механічну частину тягового приводу – режими руху ЕРС на ділянці колії (швидкість руху та сила тяги). Режими роботи АТД та вихідного перетворювача визначаються режимами роботи ЕРС – параметрами руху ЕРС, а також режимами роботи тягового приводу – вектор параметрів. На відміну від тягового приводу на основі колекторних тягових двигунів, тяговий привод на основі АТД з АІН може працювати в одній і той же точці (частоти обертання та моменту) з різним рівнем втрат у елементах приводу.

Тому задачу визначення оптимальних режимів роботи тягового приводу можливо звести до визначення оптимальних режимів роботи ланки АТД – АІН з урахуванням обмежень, що встановлюються на роботу механічної частини тягового приводу (обмеження по зчепленню та швидкості).

Ефективність тягового приводу можливо навести у вигляді виразів:

$$\eta_1 = \begin{cases} \left\{ \begin{array}{l} U_{op} = 1; \\ \eta_1 \rightarrow \max, \\ F_d \rightarrow \max, \\ |F_d| < |F'_k|, \\ v_{nc} < v_{max}; \\ F_d > 0, \end{array} \right. & \left\{ \begin{array}{l} U_{op} = 2; \\ \eta_1 \rightarrow \max, \\ |F_d| < |F'_k|, \\ v_{nc} < v_{max}; \\ F_d > 0; \end{array} \right. \\ \\ \left\{ \begin{array}{l} U_{op} = 3; \\ \eta_1 \rightarrow \max, \\ |F_d| < |F'_k|, \\ v_{nc} < v_{max}; \\ F_d < 0; \end{array} \right. & \left\{ \begin{array}{l} U_{op} = 5; \\ \eta_1 \rightarrow \max, \\ F_d \rightarrow \min, \\ |F_d| < |F'_k|, \\ v_{nc} < v_{max}; \\ F_d < 0, \end{array} \right. \end{cases} \quad (1)$$

де η_1 – ККД ланки АТД – АІН, U_{op} – режим роботи тягового приводу ЕРС, F_d – сила тяги або гальмування, яку створює ЕРС, F'_k – сила обмеження за зчепленням контакту колесо-рейка, v_{nc} – швидкість рухомого складу, v_{max} – конструктивна швидкість руху. $U_{op}=4$ – режим вибігу – холостого ходу, тому він не розглядається при визначенні ефективності приводу.

Визначення ККД ланки АТД – АІН проводиться на основі підходів запропонованих у роботах [1,2,7] що включають в себе наступне: для вирішення задачі визначення оптимальних режимів роботи ТП необхідно вирішити чотири задачі умовної оптимізації параметрів роботи тягового приводу (в режимах розгону $U_{op}=1$, режим рекуперативного гальмування $U_{op}=5$, режим підтримання заданої швидкості руху $U_{op}=2,3$). Для кожний з цих задач необхідно розглянути два режиму: застосування однократної або просторово-векторної ШІМ. Режим розгону та режим рекуперативного гальмування схожі між собою. Застосуємо метод векторних цільових функцій запропонований в роботі [10]. У якості цільової функції для режиму розгону оберемо векторну функцію з наступними параметрами:

$$F_{c1} = \begin{bmatrix} 1 - \eta_1 \rightarrow \min, \\ -F_d \rightarrow \min, \end{bmatrix}. \quad (2)$$

Перший компонент обрано таким чином, що при його мінімізації приходить максимізація ККД тягового приводу.

Для режиму рекуперативного гальмування векторна цільова функція має вигляд:

$$F_{c5} = \begin{bmatrix} 1 - \eta_1 \rightarrow \min, \\ F_d \rightarrow \min, \end{bmatrix}. \quad (3)$$

Для режиму підтримання заданої швидкості руху у якості цільової функції оберемо:

$$F_{c3} = F_{c4} = 1 - \eta_1 \rightarrow \min. \quad (4)$$

Таким чином було обрано цільові функції для визначення оптимальних режимів роботи тягового приводу, які дозволяють визначити оптимальні режими ТП при застосування різних режимів ШІМ.

Параметри оптимізації. Величину втрат, отже і на ККД приводу, можливо визначити виходячи з ковзання тягового двигуна, напруги двигуна (фазної або лінійної) та частоти обертання. В'язку з тим, що режими роботи визначаються для усіх швидкостей руху – частот обертання АТД, частота обертання є постійним наперед заданим показником заданим при вирішенні задачі пошуку оптимального режиму роботи ТП.

Для застосування відомих методів оптимізації було б доцільним використання відносних параметрів для вирішення задачі оптимізації. Тому замість напруги доцільно використовувати відносний параметр – коефіцієнт модуляції, що дуже широко застосовується у перетворювальній техніці. Зв'язок цього параметру з лінійною та фазною напругою здійснюється завдяки виразу:

$$K_m = \frac{2U_{\Delta 1}}{U_d} = \frac{2U}{\sqrt{3}U_d}, \quad (5)$$

де $U_{\Delta 1}$ – лінійна напруга тягового двигуна U_d – напруга на вході АІН.

У режимі однократної ШІМ форма кривої напруги не змінюється і його амплітуду можливо регулювати лише зміною частоти вихідної напруги. Цей режим використовується при виході на максимально достатню напругу тягового двигуна [1].

Коефіцієнт модуляції для нього дорівнює:

$$K_m = \frac{2U_{\Delta 1}}{U_d} = \frac{2\sqrt{6}}{\pi} \approx 1,56. \quad (6)$$

Отже вектор параметрів для вирішення задачі для режиму просторово-векторного ШІМ має вигляд

$$X_{PV} = \begin{bmatrix} s \\ K_m \end{bmatrix}, \quad (7)$$

а для режиму однократної ШІМ має скалярний вигляд

$$X_O = s. \quad (8)$$

Таким чином визначені параметри умовної оптимізації режимів роботи ТП при застосуванні просторово-векторної та однократної ШІМ.

Обмеження. Обмеження у вигляді нерівностей що накладаються на параметри. На ковзання накладається обмеження:

$$s = X_{PV1} = \begin{bmatrix} [0, s_{kr}], U_{op} = 1, 2 \\ [-s_{kr}, 0], U_{op} = 3, 5 \end{bmatrix}, \quad (9)$$

де s_{kr} – критичне значення ковзання.

На коефіцієнт модуляції:

$$K_m = X_{PV2} = \begin{bmatrix} [0, 1, 414], U_{op} = 1, 2 \\ [-1, 414, 0], U_{op} = 3, 5 \end{bmatrix}. \quad (10)$$

Обмеження на ковзання в режимі однократної ШІМ

$$s = X_0 = \begin{bmatrix} [0, s_{kr}], U_{op} = 1, 2 \\ [-s_{kr}, 0], U_{op} = 3, 5 \end{bmatrix}. \quad (11)$$

Обмеження діючого значення струму фази АТД за умовами можливості напівпровідникових приборів та апаратури контролю виникнення коротких замикань.

$$I_1 = \frac{I_{Cm}}{\sqrt{2}} < I_{max}, \quad (12)$$

де I_{max} – максимальне значення фазного струму АТД.

Обмеження по зчепленню колеса з рейкою

$$|F_d| < |F'_k|. \quad (13)$$

Встановлені обмеження обумовлюють простір параметрів в яких можлива робота ТП.

Алгоритм вирішення задачі аналізу. Параметрами для оцінки ефективності тягового приводу раціонально вибрати наступні компоненти вектору управління коефіцієнт модуляції (K_m), величина якого визначає значення фазної напруги тягового двигуна, величину ковзання (s) ротора і режим роботи перетворювача - однократною або просторово-векторної ШІМ. Ці величини є відносними і їх зручно використати для оцінки режимів роботи приводів різної потужності.

Для отримання рішення задачі аналізу нами розроблений наступний алгоритм.

Крок 1. Задаємося величинами $n_{зад}$, K_m , $t_{зад}$ та s . Для режиму однократної ШІМ $K_m=1,56$

Крок 2. Встановлюємо режим роботи перетворювача однократною або просторово-векторної ШІМ

Крок 3. Визначаємо величину фазної напруги двигуна і частоти живлення двигуна.

Крок 4. Визначаємо значення коефіцієнта насичення

Крок 5. Визначаємо фазний струм двигуна

Крок 6. Визначаємо коефіцієнт потужності.

Крок 7. Якщо перетворювач працює в режимі просторово-векторної ШІМ, то перейти до крок. 11.

Крок 8. Визначаємо параметри схеми заміщення АТД для струмів вищих гармонійних.

Крок 9. Визначаємо діючі значення напруги і струмів вищих гармонійних.

Крок 10. Визначаємо втрати в міді і сталі від струмів вищих гармонійних в тяговому двигуні.

Крок 11. Визначаємо додаткові і механічні втрати в двигуні за [1, 7, 10].

Крок 12. Визначаємо втрати в перетворювачі за [1, 11, 12].

Крок 13. Визначаємо активну потужність, споживану двигуном.

Крок 14. Визначаємо споживану або віддану на ланку постійної напруги потужність

Крок 15. Визначаємо втрати ККД тягового приводу і електромагнітний момент.

Перевірка адекватності математичної моделі розрахунку параметрів і визначення оптимальних режимів роботи АТД робиться шляхом порівняння результатів розрахунку тягової характеристики асинхронного тягових двигунів АД 931, що проводяться в ДП «завод Електротяжмаш», з даними, отриманими за результатами експериментальних досліджень для серійного двигуна, які приведені в табл. 1. Як видно з приведених даних, максимальне відхилення при розрахунку втрат складає 7,42%, що цілком допустимо для розрахунків, які проводяться.

У якості методу оптимізації прийнятий комбінований генетичного алгоритму: глобальний пошук здійснюється генетичним алгоритмом з односточечним кросовером і селекцією за принципом рулетки. На завершальному етапі роботи оптимізаційної процедури уточнення оптимуму здійснюється методом Нелдера - Міда. за [1, 8, 9]

На рис. 1 наведені оптимальні тягові характеристики трамваю Татра Т3 ВПА в робочих режимах. При застосуванні однократної ШІМ у режимі тяги та гальмування з'являється зона в якій неможлива робота тягового приводу (0...620 об/хв), що зумовлена неможливістю зниження напруги двигуна, а як слід, ростом фазного струму при малих частотах обертання.

Встановлені обмеження на фазний струм тягового двигуна, що обумовлюють створення зони неможливості роботи тягового приводу. Для роботи тягового приводу при малих частотах обертання застосовується режим просторово-векторної ШІМ, який дозволяє підтримувати заданий максимальний момент практично у всьому розглянутому режимі роботи від (50...620 об/хв).

Обмеження електромагнітного моменту на рівні близько 490 Нм при частотах обертання до 1220...1730 об/хв виникає за рахунок обмеження по зчепленню.

Однак при збільшенні температури збільшення електромагнітного моменту проходить за рахунок зниження ККД, що більш відчутно в режимі тяги до 0,52%.

Таблиця 1

Порівняння результатів
розрахунку характеристик і експериментальних даних АД 931

Потужність на валу, кВт	27	41	54	54	54
Фазна напруга, В	172	261	345	345	345
Момент на валу, Нм	287	289	290	159	117
Частота обертання, об./хв.	890	1350	1773	3250	4400
ККД, %	0,901	0,9212	0,93	0,932	0,927
Коефіцієнт потужності, д.о.	0,87	0,86	0,84	0,855	0,867
ККД за результатами розрахунків, %	0,9015	0,921	0,9352	0,929	0,922
Сумарні втрати, Вт	2,673	3,231	3,78	3,672	3,942
Сумарні втрати за розрахунком, Вт	2,6595	3,239	3,4992	3,834	4,212
Частота живлення, Гц	23,8	35,4	47,2	110	150
Відхилення, %	0,51	0,25	7,42	4,41	6,85

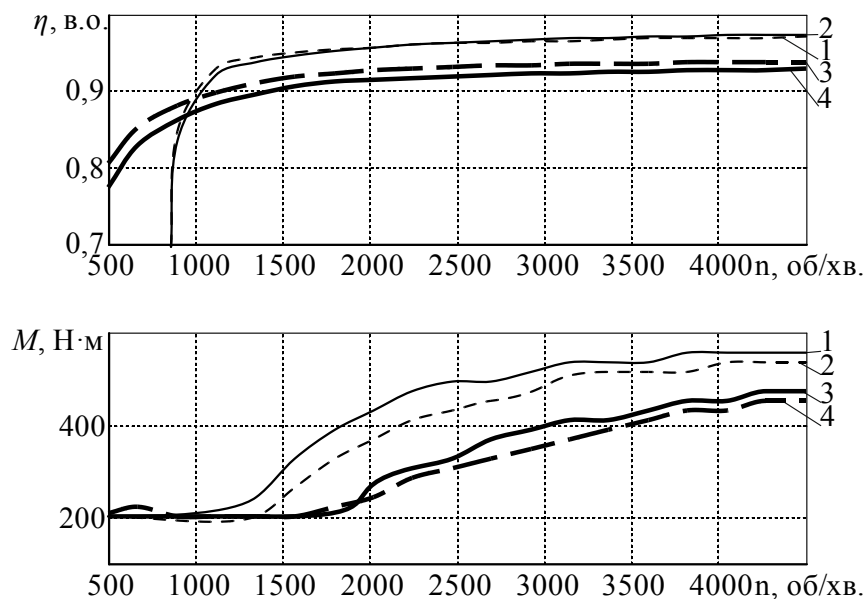


Рис. 1. Оптимальні залежності ККД та електромагнітного моменту тягового приводу трамваю в режимі $U_{op}=3$:
1 – при застосуванні однократної ШІМ та при температурі двигуна 40 °С,
2 – при застосуванні однократної ШІМ та при температурі двигуна 180 °С,
3 – при застосуванні просторово-векторної ШІМ та при температурі двигуна 40 °С,
4 – при застосуванні просторово-векторної ШІМ та при температурі двигуна 180 °С

Електромагнітний момент при підтриманні заданої швидкості ($U_{op}=2$) зменшується 27...53 Нм, а при гальмування – до 48 Нм, що обумовлено ростом активного опору обмоток статора та ротора двигуна.

Зменшення електромагнітного моменту оптимально здійснювати за рахунок змінення ковзання двигуна, характер зміни коефіцієнту модуляції змі-

нюється незначно. На частотах обертання більш за 1550 об/хв починається поступово зниження електромагнітного моменту, що обумовлено обмеженнями по струму АТД.

Так як коефіцієнт модуляції досяг максимального значення та напруга на двигуні не збільшується, це обмеження перетворюється в обмеження по потужності тягового приводу.

Висновки

1. Запропоновані цільові функції для визначення ефективності приводу які дозволяють визначити оптимальні режими ТП при застосуванні різних режимів ШІМ. Для режимів розгону та гальмування запропоновано застосування векторної цільової функції з компонентами, що обумовлюють ККД та силу тяги, а для режиму підтримання швидкості руху скалярна функція, яка обумовлена ККД приводу.

2. В якості параметрів для режиму просторово-векторної ШІМ обрано вектор зі складовими ковзання та коефіцієнту модуляції, а для однократної ШІМ – ковзання.

3. Встановлені обмеження у вигляді подвійних нерівностей для ковзання та коефіцієнту модуляції (при застосуванні просторово-векторної ШІМ). Нерівностей, що обмежують фазний струм двигуна, а також обмеження за зчепленням.

4. Шляхом порівняльного аналізу експериментально визначених і обчислювальних тягових характеристик та значень ККД була доказана адекватність запропонованої математичної моделі та створеної на її основі задачі аналізу по визначенню ККД.

5. Для вирішення задачі оптимізації було обрано комбінований метод: глобальний пошук здійснюється генетичним алгоритмом з одноточечним кросовером і селекцією за принципом рулетки. На завершальному етапі роботи оптимізаційної процедури уточнення оптимуму здійснюється методом Нелдера - Міда.

6. Було проведено оптимізацію режимів роботи тягових приводів трамвая Татра ТЗВПА у всьому діапазоні частот обертання АТД. Встановлені залежності переходу тягового приводу з режиму просторово-векторної до однократної ШІМ в залежності від температури обмоток.

Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут». Харків, - 2014. – 368 с.

2. Любарський Б.Г. Оптимизация режимов работы тягового асинхронного привода / Б.Г. Любарский // *Электрика*. – Курск, 2014. – № 6. – С. 5–10.

3. В.И. Омеляненко, Б.Г. Любарский, Е.С. Рябов, А.В. Демидов, Т.В. Глебова. Анализ и сравнение перспективных тяговых электродвигателей // *Залізничний транспорт України*. – 2008. – №2/1. – С. 26–31.

4. Электродвигатели для перспективного электроподвижного состава / В.И. Омеляненко, Б.Г. Любарский, Е.С. Рябов, А.В. Демидов, Т.В. Глебова // *Локомотив-информ*. – 2008. – № 1. – С. 16–19.

5. Электроподвижной состав с асинхронными тяговыми двигателями / Н.А. Ротанов, А.С. Курбасов, Ю.Г. Быков, В.В. Литовченко; под ред. Н.А. Ротанова. – М.: Транспорт, 1991. – 336 с.

6. Коллахчян П.Г. Адаптивное управление асинхронным тяговым приводом магистральных электровозов / П.Г. Коллахчян. – Ростов н/Д : Изд-во журн. «Изв. вузов. Сев.-Кавк. региона», 2006. – 131 с.

7. Костенко М.П. Электрические машины. Ч. 2. Машины переменного тока; изд. 3 перераб. / М.П. Костенко, Л.М. Пиотровский. – Л-д : Энергия, 1973. – 648 с.

8. Северин В.П. Методы одномерного поиска / В.П. Северин, Е.Н. Никулина. - Х. : НТУ ХПИ, 2013. – 124 с.

9. Химмельблау Д. Прикладное нелинейное программирование / Д.Химмельблау; пер. с англ. – М.: Мир, 1975. – 534 с.

10. Находкин М.Д. Проектирование тяговых электрических машин. Учебное пособие для вузов жс.-д. транспорта, Изд. 2, перераб. и дополн. / М.Д. Находкин. – М.: Транспорт, 1976. – 624 с.

11. General Considerations for IGBT and IPM. Mitsubishi Application Notes [Електронний ресурс]. – Режим доступу: http://www.mitsubishielectric.com/semiconductors/files/manuals/powermos3_0.pdf.

12. Ивахно В.В. Выбор и расчет силовых полупроводниковых приборов полупроводникового преобразователя электрической энергии : учеб.-метод. пос. / В.В. Ивахно, В.В. Замаруев, О.В. Ильина. – Х.: НТУ «ХПИ», 2014. – 72 с.

13. БИЛТ.652414.001ПС. Электродвигатель асинхронный тяговый типа АД931У2. Паспорт.

Список літератури

1. Любарський Б.Г. Теоретичні основи для вибору та оцінки перспективних систем електромеханічного перетворення енергії електрорухомого складу. – Дисертація ... д-ра техн. наук : 05.22.09. – Електротранспорт.

Надійшла до редколегії 18.09.2016

Рецензент: д-р техн. наук, проф. Б.Г. Любарський, Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», Харків.

ВЫБОР ОПТИМАЛЬНЫЙ РЕЖИМ РАБОТЫ ПОЛУПРОВОДНИКОВОГО ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЯ ДЛЯ ПИТАНИЯ ТЯГОВОГО АСИНХРОННЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ

А.Н. Петренко

В статье приведена методика определения оптимальных режимов работы полупроводникового преобразователя для питания тягового асинхронного двигателя по критерию эффективности привода на основании решения задачи оптимизации.

Ключевые слова: асинхронный тяговый двигатель, автономный инвертор напряжения, оптимизация режимов работы тягового привода, эффективность тягового привода.

SELECTION OPTIMAL MODE SEMICONDUCTOR CONVERTER TO POWER THE TRACTION INDUCTION MOTORS

O.M. Petrenko

In the article the method of determining optimal modes of semiconductor power converter for traction induction motor drive performance criterion on the basis of solving the optimization problem.

Keywords: asynchronous traction motor, autonomous voltage inverter, optimization of the traction drive, the traction drive efficiency.

Математичні моделі та методи

УДК 510.635

Н.В. Голян, В.В. Голян, Л.Д. Самофалов

Харьковский национальный университет радиоэлектроники, Харьков

АЛГЕБРА ПОНЯТИЙ КАК ФОРМАЛЬНЫЙ АППАРАТ МОДЕЛИРОВАНИЯ ДЕЙСТВИЙ ИНТЕЛЛЕКТА НАД ПОНЯТИЯМИ

В работе аксиоматически построена алгебра понятий - алгебраическая система, элементы множества-носителя которой интерпретируются как понятия интеллекта, а ее операции над этими элементами - как действия интеллекта над понятиями. Доказана теорема о существовании алгебры понятий любой размерности.

Ключевые слова: алгебра конечных предикатов, алгебра понятий, интеллект, высказывание.

Введение

В настоящей статье аксиоматически строится алгебра понятий - алгебраическая система, элементы множества-носителя которой интерпретируются как понятия интеллекта, а ее операции над этими элементами - как действия интеллекта над понятиями. Доказана теорема о существовании алгебры понятий любой размерности.

Работа является логическим продолжением ряда статей [1-3] по методике формализации понятий человеческого интеллекта методом сравнения.

1. Введение алгебры понятий

Любую алгебраическую систему L_n , которая состоит из множества S_n ($n \in \{1, 2, \dots\}$), содержащего 2^n элементов, отношения равенства $x=y$ и операции $x \vee y$, ($x, y, z \vee y \in S_n$), назовем алгеброй понятий, если для нее выполняются такие условия.

1) Для любого $x \in S_n$ $x \vee x = x$ (аксиома идемпотентности).

2) Для любых $x, y \in S_n$ $x \vee x = y \vee x$ (аксиома коммутативности).

3) Для любых $x, y, z \in S_n$ $(x \vee y) \vee z = x \vee (y \vee z)$ (аксиома ассоциативности).

4) В множестве S_n содержится элемент 0 такой, что для любого $x \in S_n$ $0 \vee x = x$ (аксиома 0).

5) В множестве S_n содержатся такие не совпадающие с нулем различные элементы e_1, e_2, \dots, e_n , что из них и из элементов 0 можно с помощью операции \vee получить любой из элементов множества S_n (аксиома n -мерности).

Введенные алгебры понятий L_1, L_2, \dots являются частным случаем коммутативных идемпотентов [1].

Множество S_n назовем носителем алгебры понятий L_n . Число n назовем размерностью алгебры L_n . Элементы множества S_n назовем понятиями

алгебры L_n . Будем говорить, что понятия алгебры L_n n -мерны. Операцию $x \vee y$ назовем дизъюнкцией понятий x и y . Понятие $z = x \vee y$, получаемое в результате выполнения операции дизъюнкции над понятиями x и y , будем называть их логической суммой. Понятия x и y будем называть слагаемыми суммы $x \vee y$. Элемент 0 назовем нулевым понятием идей или нулем алгебры L_n . Элементы e_1, e_2, \dots, e_n назовем базисными понятиями алгебры L_n , а множество $B_n = \{e_1, e_2, \dots, e_n\}$ - ее базисом. Нулевую и базисные понятия будем называть образующими понятиями алгебры L_n .

Алгебра понятий размерности n ($n \in \{1, 2, \dots\}$) была введена не прямым определением, а задана неявно системой логических условий. При таком способе задания не исключен случай, когда не существует ни одного объекта, соответствующего этой системе условий. Так случилось бы, если бы система условий, задающая алгебру понятий размерности n , оказалась бы противоречивой. Поэтому важно доказать, что для каждого $n \in \{1, 2, \dots\}$ существует хотя бы одна конкретная алгебра L_n , являющаяся алгеброй понятий размерности n . Если этого не сделать, то у нас не будет гарантии того, что при каждом натуральном n алгебра понятий есть нечто реальное, а не просто ни на что не годная фикция. Такую гарантию дает доказываемая ниже теорема о существовании алгебры понятий.

Теорема. Алгебра понятий любой размерности n , $n = (1, 2, \dots)$ существует.

Доказательство. Теорема будет доказана, если нам удастся построить ряд конкретных алгебр L_1, L_2, \dots, L_n , являющихся алгебрами понятий размерности $1, 2, \dots$. Алгебры L_1, L_2, \dots, L_n будем строить с помощью специальной порождающей процедуры, начиная с алгебры L_1 размерности $n = 1$ и

переходя от алгебры L_{k-1} размерности $n = k - 1$ к алгебре L_k размерности $n = k$. Проверку алгебр L_1, L_2, \dots, L_n на их соответствие определению алгебр понятий размерности $1, 2, \dots$ будем вести методом математической индукции по k , начиная с алгебры L_1 и переходя от алгебры L_{k-1} к алгебре L_k .

Алгебру L_1 с номером $k = 1$ определяем следующим образом. В роли носителя алгебры L_1 используем множество $S_1 = \{0, 1\}$. В качестве элементов множества S_1 берем символы 0 и e_1 . Таким образом, в множестве S_1 содержится $2 = 2^1$ элемента. Операцию \vee дизъюнкции элементов множества S_1 определяем следующим образом: $0 \vee 0 = 0$, $0 \vee e_1 = e_1$, $e_1 \vee 0 = e_1$, $e_1 \vee e_1 = e_1$. Докажем, что так определенная алгебра L_1 удовлетворяет всем аксиомам алгебры понятий размерности 1 . Проверяем идемпотентность дизъюнкции. По только что принятому определению операции дизъюнкции имеем: $0 \vee 0 = 0$, $e_1 \vee e_1 = e_1$. Следовательно, при любом $x \in S_1$ $x \vee x = x$. Проверяем коммутативность дизъюнкции: $0 \vee e_1 = e_1 = e_1 \vee 0$. Итак, при любых $x, y \in S_1$, $x \vee y = y \vee x$. Из определения операции дизъюнкции выводим аксиому ассоциативности:

$$\begin{aligned} (0 \vee 0) \vee 0 &= 0 \vee 0 = 0 \vee (0 \vee 0), \\ (0 \vee 0) \vee e_1 &= 0 \vee e_1 = 0 \vee (0 \vee e_1), \\ (0 \vee e_1) \vee 0 &= e_1 \vee 0 = e_1 = 0 \vee e_1 = 0 \vee (e_1 \vee 0), \\ (0 \vee e_1) \vee e_1 &= e_1 \vee e_1 = e_1 = 0 \vee e_1 = 0 \vee (e_1 \vee e_1), \\ (e_1 \vee 0) \vee 0 &= e_1 \vee 0 = e_1 \vee (0 \vee 0), \\ (e_1 \vee 0) \vee e_1 &= e_1 \vee (0 \vee e_1), \\ (e_1 \vee e_1) \vee 0 &= e_1 \vee 0 = e_1 = e_1 \vee e_1 = e_1 \vee (e_1 \vee 0), \\ (e_1 \vee e_1) \vee e_1 &= e_1 \vee e_1 = e_1 \vee (e_1 \vee e_1). \end{aligned}$$

Мы получили, что при любых $x, y, z \in S_1$ $(x \vee y) \vee z = x \vee (y \vee z)$.

Проверяем аксиому нуля. В роли нуля алгебры L_1 берем символ 0 . Это мы имеем право сделать, поскольку для символа 0 аксиома нуля выполняется. В самом деле: $0 \vee 0 = 0$, $0 \vee e_1 = e_1$. Это означает, что при любом $x \in S_1$ $0 \vee x = x$. Проверяем аксиому одномерности. В роли базисного элемента алгебры L_1 , принимаем символ e_1 . Элемент e_1 – ненулевой, поскольку он не удовлетворяет аксиоме нуля: $e_1 \vee 0 = e_1$, следовательно, $e_1 \vee 0 \neq 0$. Все элементы множества S_1 выражаются через базисный и нулевой элементы с помощью операции \vee , т.к. $0 = 0 \vee 0$, $e_1 = 0 \vee e_1$. Итак, аксиома одномерности в алгебре L_1 выполняется. Как видим, построенная

нами при $k = 1$ алгебра L_1 есть алгебра понятий размерности 1 . Следовательно, одномерная алгебра понятий существует.

Предположим теперь, что уже построена алгебра L_{k-1} , и сконструируем на ее основе алгебру L_k . В роли носителя алгебры L_{k-1} используется множество S_{k-1} , состоящее из 2^{k-1} различных символов. Пусть в алгебре L_{k-1} роль нулевого элемента выполняет символ 0 , а в качестве базисных элементов выступают не совпадающие с нулем различные символы e_1, e_2, \dots, e_{k-1} . Полагаем, кроме того, что в алгебре L_{k-1} задана двуместная операция \vee дизъюнкции элементов множества S_{k-1} , значениями которой служат элементы того же множества. Имеется в виду, что операция \vee идемпотентна и ассоциативна, а также удовлетворяет аксиомам нуля и $k - 1$ -мерности.

В роли носителя алгебры L_k берем множество S_k , которое формируется следующим образом. Во-первых, включаем в его состав 2^{k-1} символов, образующих множества S_{k-1} . Во-вторых, включаем в состав множества S_k символ e_k , отличающийся от любого элемента множества S_{k-1} . В-третьих, включаем в состав множества S_k всевозможные символы вида xe_k , где x – произвольный ненулевой элемент множества S_{k-1} . Символ xe_k представляет собой последовательность символов x и e_k . Каждый из $2^{k-1} - 1$ символов вида xe_k отличается от всех других элементов множества S_k . Действительно, символы xe_k и ye_k , различны. Каждый из символов вида xe_k отличается от любого символа из множества S_{k-1} наличием в его составе символа e_k , стоящего справа. От символа же e_k каждый из символов вида xe_k отличается наличием левой части x . Таким образом, множество S_k составлено из 2^k различных символов. Полагаем, что в алгебре L_k роль нулевого элемента выполняет символ 0 , а в качестве базисных элементов используются символы e_1, e_2, \dots, e_k .

Операцию дизъюнкции элементов в алгебре L_k определяем следующим образом. В качестве логической суммы $z = x \vee y$ любых двух символов $x, y \in S_{k-1}$ берем символ $z \in S_{k-1}$, получаемый в алгебре L_{k-1} в результате выполнения операции дизъюнкции символов x и y . Дизъюнкцию символа e_k с самим собой задаем правилом $e_k \vee e_k = e_k$ (1), с символом 0 – правилами $0 \vee e_k = e_k \vee 0 = e_k$ (2,3),

с любым ненулевым элементом $x \in S_{k-1}$ – правилами $x \vee e_k = e_k \vee x = xe_k$ (4,5), с любым элементом вида xe_k – правилами $e_k \vee xe_k = xe_k \vee e_k = xe_k$ (6,7). Дизъюнкцию произвольного символа $x \in S_{k-1}$ с символом вида xe_k задаем правилами $x \vee ye_k = ye_k \vee x = (x \vee y)e_k$ (8,9). Наконец, дизъюнкцию любых символов вида xe_k и ye_k определяем правилом $xe_k \vee ye_k = (x \vee y)e_k$ (10).

Итак, мы полностью построили алгебру L_k . Осталось показать, что введенная в ней операция дизъюнкции обладает свойством идемпотентности, коммутативности и ассоциативности, а также удовлетворяет аксиомам нуля и k -мерности. Проверяем идемпотентность дизъюнкции. Для любого элемента $x \in S_{k-1}$, согласно свойству идемпотентности операции \vee в алгебре L_{k-1} , имеем $x \vee x = x$. Для символа e_k по правилу (1) имеем $e_k \vee e_k = e_k$. Для любого символа вида xe_k , согласно правилу (10) и аксиоме идемпотентности в алгебре L_{k-1} , получаем $xe_k \vee xe_k = (x \vee x)e_k = xe_k$.

Проверяем коммутативность. Для любых $x, y \in S_{k-1}$ равенство $x \vee y = y \vee x$ имеет место ввиду коммутативности дизъюнкции в алгебре L_{k-1} . В случае, когда одно из слагаемых x есть элемент из S_{k-1} , а другое – символ e_k , коммутативность вытекает из равенств (2)-(5): если $x = 0$, то $x \vee e_k = 0 \vee e_k = e_k = e_k \vee 0 = e_k \vee x$; если же $x \neq 0$, то $x \vee e_k = xe_k = e_k \vee x$. Для случая, когда одно из слагаемых есть символ $x \in S_{k-1}$, а другое – символ вида ye_k , коммутативность вытекает из правил (8) и (9): $x \vee ye_k = (x \vee y)e_k = ye_k \vee x$. Для случая, когда одно слагаемое есть символ e_k , а другое – символ xe_k , коммутативность следует из правил (6) и (7): $e_k \vee xe_k = xe_k = xe_k \vee e_k$. Остался нерассмотренным случай, когда оба слагаемых являются символами вида xe_k и ye_k . Коммутативность в этом случае следует из правила (10) и аксиомы коммутативности дизъюнкции в алгебре L_{k-1} : $xe_k \vee ye_k = (x \vee y)e_k = (y \vee x)e_k = ye_k \vee xe_k$.

Проверяем ассоциативность дизъюнкции. Множество S_k разбиваем на четыре класса элементов: а) нулевой элемент 0, б) ненулевые элементы множества S_{k-1} , в) элемент e_k , г) элементы вида xe_k . Поскольку в аксиоме ассоциативности $(x \vee y) \vee z = x \vee (y \vee z)$ фигурируют три элемента x, y и z , то приходится проверять $4^3 = 64$ типа равенств. Если $x, y, z \in S_{k-1}$, то, согласно свойству

ассоциативности операции \vee в алгебре L_{k-1} , имеем $(x \vee y) \vee z = x \vee (y \vee z)$. Проверяем ассоциативность для случая, когда $x, y, z \in \{0, e_k\}$:

$$\begin{aligned}(0 \vee 0) \vee e_k &= 0 \vee e_k = 0 \vee (0 \vee e_k), \\ (0 \vee e_k) \vee 0 &= e_k \vee 0 = 0 \vee (e_k \vee 0), \\ (e_k \vee 0) \vee 0 &= e_k \vee 0 = e_k \vee (0 \vee 0), \\ (0 \vee e_k) \vee e_k &= e_k \vee e_k = e_k \vee (0 \vee e_k), \\ (e_k \vee e_k) \vee 0 &= e_k \vee 0 = e_k \vee e_k = e_k \vee (e_k \vee 0), \\ (e_k \vee e_k) \vee e_k &= e_k \vee e_k = e_k \vee (e_k \vee e_k).\end{aligned}$$

Рассматриваем все оставшиеся случаи, когда в условии ассоциативности присутствует любые элементы, кроме элементов вида xe_k :

$$\begin{aligned}(x \vee y) \vee e_k &= (x \vee y)e_k = x \vee ye_k = x(y \vee e_k), \\ (x \vee e_k) \vee y &= xe_k \vee y = (x \vee y)e_k = x \vee ye_k = x \vee (e_k \vee y), \\ (e_k \vee x) \vee y &= xe_k \vee y = (x \vee y) \vee e_k = e_k \vee (x \vee y), \\ (x \vee e_k) \vee e_k &= xe_k \vee e_k = xe_k = x \vee e_k = x \vee (e_k \vee e_k), \\ (e_k \vee x) \vee e_k &= xe_k \vee e_k = xe_k = e_k \vee xe_k = e_k \vee (x \vee e_k), \\ (e_k \vee e_k) \vee x &= e_k \vee x = xe_k = e_k \vee xe_k = e_k \vee (e_k \vee x), \\ (0 \vee x) \vee e_k &= x \vee e_k = x \vee e_k = 0 \vee xe_k = 0 \vee (x \vee e_k), \\ (x \vee 0) \vee e_k &= x \vee e_k = x \vee (0 \vee e_k), \\ (e_k \vee 0) \vee x &= e_k \vee x = e_k \vee (0 \vee x), \\ (e_k \vee x) \vee 0 &= xe_k \vee 0 = xe_k = e_k \vee x = e_k \vee (x \vee 0), \\ (0 \vee e_k) \vee x &= e_k \vee x = x \vee e_k = 0 \vee xe_k = 0 \vee (e_k \vee x), \\ (x \vee e_k) \vee 0 &= xe_k \vee 0 = xe_k = x \vee e_k = x \vee (e_k \vee 0).\end{aligned}$$

Рассматриваем случаи, когда в условии ассоциативности присутствуют нулевые элементы вида xe_k :

$$\begin{aligned}(0 \vee 0) \vee xe_k &= 0 \vee xe_k = 0 \vee (0 \vee xe_k), \\ (0 \vee xe_k) \vee 0 &= xe_k \vee 0 = xe_k = xe_k(0 \vee 0), \\ (0 \vee xe_k) \vee ye_k &= xe_k \vee ye_k = xe_k \vee (0 \vee ye_k), \\ (xe_k \vee ye_k) \vee 0 &= (0 \vee xe_k) \vee ye_k = xe_k \vee ye_k = \\ &= (x \vee y)e_k = 0 \vee (x \vee y)e_k = xe_k \vee (0 \vee ye_k), \\ (x \vee y)e_k \vee 0 &= (x \vee y)e_k = xe_k \vee (xe_k \vee 0), \\ (xe_k \vee ye_k) \vee 0 &= (x \vee y)e_k \vee 0 = (x \vee y)e_k = \\ &= xe_k \vee ye_k = xe_k \vee (xe_k \vee 0), \\ (xe_k \vee ye_k) \vee ze_k &= (x \vee y)e_k \vee ze_k = ((x \vee y) \vee z)e_k = \\ &= (x \vee (y \vee z))e_k = xe_k \vee (y \vee z)e_k = xe_k \vee (ye_k \vee ze_k).\end{aligned}$$

Проверяем ассоциативность при наличии ненулевых элементов множества S_{k-1} и элементов вида xe_k :

$$\begin{aligned}(x \vee y) \vee ze_k &= ((x \vee y) \vee z)e_k = (x \vee (y \vee z))e_k = \\ &= x \vee (y \vee z)e_k = x \vee (y \vee ze_k), \\ (x \vee ye_k) \vee z &= (x \vee y)e_k \vee z = (x \vee (y \vee z))e_k = \\ &= x \vee (y \vee z)e_k = x \vee (ye_k \vee z), \\ (xe_k \vee y) \vee z &= (x \vee y)e_k \vee z = (x \vee (y \vee z))e_k = \\ &= (x \vee (y \vee z))e_k = xe_k \vee (y \vee z), \\ (x \vee ye_k) \vee ze_k &= (x \vee y)e_k \vee ze_k = ((x \vee y) \vee z)e_k = \\ &= (x \vee (y \vee z))e_k = x \vee (y \vee z)e_k = x \vee (ye_k \vee ze_k), \\ (xe_k \vee y) \vee ze_k &= (x \vee y) \vee ze_k = \\ (x \vee y)e_k \vee ze_k &= ((x \vee y) \vee z)e_k = (x \vee (y \vee z))e_k = \\ &= xe_k \vee (y \vee z)e_k = xe_k \vee (y \vee ze_k), \\ (xe_k \vee ye_k) \vee z &= (x \vee y)e_k \vee z = ((x \vee (y \vee z))e_k = \\ &= (x \vee (y \vee z))e_k = xe_k \vee (y \vee z)e_k = xe_k \vee (ye_k \vee z).\end{aligned}$$

Рассматриваем случай, когда в условии ассоциативности присутствуют элементы вида xe_k , а также элементы e_k и 0:

$$\begin{aligned} (e_k \vee e_k) \vee ze_k &= e_k \vee xe_k = e_k \vee (e_k \vee xe_k), \\ (e_k \vee xe_k) \vee e_k &= xe_k = e_k \vee xe_k = e_k \vee (xe_k \vee e_k), \\ (xe_k \vee e_k) \vee e_k &= xe_k \vee e_k = xe_k \vee (e_k \vee e_k), \\ (e_k \vee xe_k) \vee ye_k &= xe_k \vee ye_k = e_k \vee (xe_k \vee ye_k), \\ (xe_k \vee e_k) \vee ye_k &= xe_k \vee ye_k = xe_k \vee (e_k \vee ye_k), \\ (xe_k \vee ye_k) \vee e_k &= (x \vee y)e_k \vee e_k = xe_k \vee (ye_k \vee e_k), \\ (0 \vee e_k) \vee xe_k &= e_k \vee xe_k = xe_k = 0 \vee (e_k \vee xe_k), \\ (e_k \vee 0) \vee xe_k &= e_k \vee xe_k = e_k \vee (0 \vee xe_k), \\ (xe_k \vee 0) \vee e_k &= xe_k \vee e_k = xe_k \vee (0 \vee e_k), \\ (xe_k \vee e_k) \vee 0 &= xe_k \vee 0 = xe_k = xe_k \vee (e_k \vee 0), \\ (0 \vee xe_k) \vee e_k &= xe_k \vee e_k = xe_k = 0 \vee (xe_k \vee e_k), \\ (e_k \vee xe_k) \vee 0 &= xe_k \vee 0 = xe_k = e_k \vee (xe_k \vee 0). \end{aligned}$$

Осталось проверить два случая, когда в аксиоме ассоциативности фигурируют элемент 0 и элементы вида x , ye_k или элементы вида e_k , x , ye_k , где x , y – любые ненулевые элементы множества S_{k-1} :

$$\begin{aligned} (0 \vee x) \vee ye_k &= x \vee ye_k = (x \vee y)e_k = 0 \vee (x \vee ye_k), \\ (x \vee 0) \vee ye_k &= x \vee ye_k = x \vee (0 \vee ye_k), \\ (xe_k \vee 0) \vee y &= xe_k \vee y = xe_k \vee (0 \vee y), \\ (xe_k \vee y) \vee 0 &= (x \vee y)e_k = xe_k \vee (x \vee 0), \\ (0 \vee xe_k) \vee y &= xe_k \vee y = 0 \vee (xe_k \vee y), \\ (x \vee ye_k) \vee 0 &= (x \vee y)e_k \vee 0 = 0 \vee (ye_k \vee 0), \\ (x \vee e_k) \vee ye_k &= xe_k \vee ye_k = x \vee (e_k \vee ye_k), \\ (e_k \vee x) \vee ye_k &= xe_k \vee ye_k = e_k \vee (x \vee ye_k), \\ (x \vee ye_k) \vee e_k &= (x \vee y)e_k \vee e_k = x \vee (ye_k \vee e_k), \\ (xe_k \vee y) \vee e_k &= (x \vee y)e_k \vee e_k = xe_k \vee (y \vee e_k), \\ (e_k \vee xe_k) \vee y &= xe_k \vee y = e_k \vee (xe_k \vee y), \\ (xe_k \vee e_k) \vee y &= xe_k \vee y = xe_k \vee (e_k \vee y). \end{aligned}$$

Проверяем аксиому нуля. Для любого $x \in S_{k-1}$, согласно аксиоме нуля в алгебре L_{k-1} , имеем $0 \vee x = x$. Для символа e_k по правилу (2) имеем $0 \vee e_k = e_k$. Для любого символа вида xe_k , согласно правилу (8) и аксиоме нуля в алгебре L_{k-1} , получаем: $0 \vee ye_k = (0 \vee x)e_k = xe_k$. Проверяем аксиому k -мерности. По индуктивному пред-

положению для всех $x \in S_{k-1}$ аксиома $k-1$ -мерности выполняется. Следовательно, все элементы множества S_k , принадлежащие вместе с тем и множеству S_{k-1} , можно получить из базисного и нулевого элементов алгебры L_{k-1} (а значит, из базисных и нулевого элементов алгебр L_k) с помощью операции дизъюнкции. Элемент e_k выражается в виде $e_k = 0 \vee e_k$. Остальные элементы множества S_k имеют вид xe_k , где $x \in S_{k-1}$. Все они выражаются, согласно (4), в виде $xe_k = x \vee e_k$. Итак, мы убедились в том, что введенная в алгебре L_k , операция дизъюнкции обладает свойством идемпотентности, коммутативности и ассоциативности, а также удовлетворяет аксиомам нуля и k -мерности. Следовательно, теорема доказана.

Вывод

В работе аксиоматически построена алгебра понятий - алгебраическая система, элементы множества-носителя которой интерпретируются как понятия интеллекта, а ее операции над этими элементами – как действия интеллекта над понятиями. Доказана теорема о существовании алгебры понятий любой размерности.

Список литературы

1. Лецинская, И.А. Формулы исчисления высказываний / И.А. Лецинская // Системы обработки информации. - Харьков: ХУПС, 2016. - №9 (146). - С. 94-96.
2. Лецинский, В.А. О теоремах исчисления высказываний / В.А. Лецинский // Системы обработки информации. - Х.: ХУПС, 2016. - №9 (146). - С. 97-100.
3. Лецинский, В.А. О формальных свойствах исчисления высказываний [Текст] / В.А. Лецинский, И.А. Лецинская // Зб. наук. пр. ХУПС. - Харьков: ХУПС, 2016. - №3 (147). - С. 85-87.
4. Винберг Э.Б. Курс алгебры / Э.Б. Винберг. - М.: МЦНМО, 2011. - 592 с.

Надійшла до редколегії 28.08.2016

Рецензент: д-р техн. наук, проф. І.В. Шостак, Національний аерокосмічний університет імені М.Є. Жуковського «ХАІ», Харків.

АЛГЕБРА ПОНЯТЬ ЯК ФОРМАЛЬНИЙ АПАРАТ МОДЕЛЮВАННЯ ДІЙ ІНТЕЛЕКТУ НАД ПОНЯТТЯМИ

Н.В. Голян, В.В. Голян, Л.Д. Самофалов

У роботі аксіоматично побудована алгебра понять - алгебраїчна система, елементи множини-носія якої інтерпретуються як поняття інтелекту, а її операції над цими елементами - як дії інтелекту над поняттями. Доведена теорема про існування алгебри понять будь-якої розмірності.

Ключові слова: алгебра скінченних предикатів, алгебра понять, інтелект, висловлювання.

ALGEBRA OF CONCEPTS AS FORMAL APPARATUS OF DESIGN OF INTELLECT ACTIONS ABOVE CONCEPTS

N.V. Golian, V.V. Golian, L.D. Samofalov

The axiomatically built algebraic system concepts algebra is developed. The elements of concepts algebra number-carrier are interpreted as concepts of intellect, and it operations above these elements – as actions of intellect above concepts. A theorem is well-proven about existence of any dimension concepts algebra.

Keywords: finite predicates algebra, algebra of concepts, intellect, utterance.

УДК 621.37:621.391

Т.В. Лавровская, С.Г. Рассомахин

Харьковский национальный университет имени В.Н. Каразина, Харьков

МАТЕМАТИЧЕСКИЙ МЕТОД ДЕКОДИРОВАНИЯ ПСЕВДОСЛУЧАЙНЫХ КОДОВ НА ОСНОВЕ МОДИФИЦИРОВАННОГО МЕТОДА ВЕТВЕЙ И ГРАНИЦ

Рассматривается конструктивный математический метод декодирования псевдослучайных кодов на основе использования метода ветвей и границ, предложена модификация классического алгоритма ветвей и границ, проведена оценка вычислительной сложности методов декодирования псевдослучайных кодов на основе классического и модифицированного алгоритма ветвей и границ, а также оценка вычислительной сложности предложенного метода по сравнению с переборным алгоритмом, разработана программная реализация метода декодирования псевдослучайных кодов.

Ключевые слова: псевдослучайные помехоустойчивые коды, метод ветвей и границ, вычислительная сложность, модифицированный метод ветвей и границ, линейный конгруэнтный генератор.

Введение

Постановка проблемы. Научно-технический прогресс в области телекоммуникаций в современном обществе предоставляет широкие возможности для информационного обмена. Это является мощным стимулом для развития различных информационных технологий, которые прочно входят в повседневную жизнь. Ведение бизнеса с помощью электронной коммерции, использование Blockchain, применение облачных технологий – вот далеко не полный перечень достижений ИТ области. При этом из года в год возрастает номенклатура и количество технических средств обработки и передачи информации, которые работают в сетях беспроводной связи. Это делает актуальным поиск новых решений рационального использования частотно-энергетического ресурса каналов передачи данных для построения технологий, позволяющих одновременно повысить скорость передачи данных и снизить требуемую мощность передатчиков.

В теории передачи информации известна историческая роль методологии, основанной на использовании случайно выбираемых кодов, в доказательстве фундаментальных теорем для зашумленных каналов [1, 2]. Однако, доказательства на основе случайного выбора кода обычно называются неконструктивными, поскольку до сегодняшнего дня случайные (псевдослучайные) коды (ПСК) для обеспечения помехоустойчивости и конфиденциальности процесса передачи информации не используются. Это является следствием отсутствия приемлемых по вычислительной сложности методов построения и декодирования ПСК, обеспечивающих корректирующую способность, близкую к максимальному правдоподобию. Реализация конструктивных алгоритмов построения и обработки ПСК может быть

получена только при использовании детерминированных алгоритмов генерации псевдослучайных символов кодовых слов. Привлекательность технологий ПСК заключается в возможности создания сигнально-кодовых конструкций, которые позволяют одновременно повысить как частотную, так и энергетическую эффективность СПИ. Однако основной преградой для широкого использования ПСК в настоящее время является отсутствие не переборных методов декодирования.

Вычислительная сложность алгоритмов, основанных на вычислении евклидовых расстояний возрастает экспоненциально с увеличением длины блока кода и при практически требуемых значениях длины блока является неприемлемой. Получение простых линейных алгебраических методов декодирования наталкивается на трудности, вытекающие из нелинейности детерминированных алгоритмов генерации ПСП. Таким образом, можно утверждать, что идеи применения ПСК могут найти конструктивное воплощение в случае, если будут найдены линейные (линеаризованные) методы декодирования таких кодов.

Цель работы: разработка конструктивного математического метода декодирования ПСК на основе применения модифицированного метода ветвей и границ, оценка вычислительной сложности операции декодирования и ее сравнение с переборными алгоритмами, основанными на использовании правила максимального правдоподобия.

1. Формулировка задачи декодирования, как основной задачи линейного программирования

Процедура получения кодовой книги произвольного псевдослучайного кода может быть представлена следующим образом. Пусть кодированию

подлежит общий поток двоичных символов источника, разбитый на последовательности длиной k бит. Эти последовательности предназначены для построения блочного помехоустойчивого кода. При этом каждая комбинация из k двоичных символов источника трактуется, как десятичная количественная величина x_0 – порядковый номер, которой определяет дальнейшую соответствующую последовательность псевдослучайных чисел x_1, x_2, \dots, x_{n-1} , то есть x_0 – является порождающим числом кодового слова $X_j = \{x_{j_0}^j, x_{j_1}^j, \dots, x_{j_{n-1}}^j\}$ с соответствующим номером $j = x_{j_0}^j, j \in [0, \dots, (2^k - 1)]$. Таким образом, каждому блоку из k двоичных символов источника ставится в соответствие блок с n недвоичных чисел кода. Числа кодовых слов, определяют информативные параметры сигнала, например, амплитуды квадратурных компонент поднесущих частот [3]. Величина

$$R = k/n, \quad (1)$$

является скоростью помехоустойчивого кода и показывает соотношение количества информационных двоичных символов сообщения с количеством недвоичных символов кода, предназначенных для передачи по каналу связи. Поскольку длина кодового слова ПСК n , фактически, может выбираться независимо от длины исходного блока двоичных символов k , то скорость кода (1) может быть, как больше, так и меньше единицы. При передаче кодового слова по каналу с помехами недвоичные числа слова используются (после соответствующего масштабирования) для модуляции информативного параметра многоуровневого сигнала, например, амплитуды, частоты, фазы или их композиции.

На выходе канала после воздействия шума на последовательность имеем:

$$X_j^* = X_j + \Xi = \{x_{j_0}^j + \xi_0, x_{j_1}^j + \xi_1, \dots, x_{j_{n-1}}^j + \xi_{n-1}\} = \{x_{j_0}^*, x_{j_1}^*, \dots, x_{j_{n-1}}^*\},$$

где $\Xi = \{\xi_0, \xi_1, \dots, \xi_{n-1}\}$ – вектор координат шума.

Рассматриваемые коды, при условии, что пропускная способность канала не превышена, позволяют обеспечить сколь угодно малую вероятность декодирования с ошибкой на блок кода при простом увеличении длины блока n . Стоит заметить, что в настоящее время псевдослучайные коды не имеют практического применения в системах передачи информации, поскольку известные методы декодирования таких кодов основываются на реализации правила максимального правдоподобия и возможны лишь при посимвольном сравнении, полученного канального слова со всеми возможными вариантами, которые хранятся в приемнике. То есть проце-

дура декодирования сводится к поиску минимального значения длины разностного вектора Евклидовой расстояния между точками X_j^* и X_i :

$$\min |X_j^* - X_i| = \sqrt{(x_0^{j^*} - x_0^i)^2 + \dots + (x_{n-1}^{j^*} - x_{n-1}^i)^2},$$

где $i \in [0, \dots, (2^k - 1)]$.

Таким образом, вычислительная сложность таких методов декодирования возрастает экспоненциально с длиной блока кода n .

Для обеспечения возможности решения данной проблемы декодирования, при построении ПСК предлагается использование процедуры вычисления символов кодовых слов по рекуррентному правилу линейной конгруэнтной генерации (ЛКГ), которое позволяет линеаризовать задачу декодирования ПСК и существенно уменьшить ее вычислительную сложность.

Это возможно, благодаря замене вычисления Евклидова расстояния, асимптотически тождественным по конечному результату правилом наименьших проекций (ПНП)

$$\min \sum_{q=0}^{n-1} |x_q^{j^*} - x_q^i|,$$

где $i \in [0, \dots, (2^k - 1)]$. Использование ПНП в комплексе с методом декодирования ПСК на основе модифицированного метода ветвей и границ позволит обеспечить вычислительную сложность не выше полиномиальной от длины блока n .

Рассмотрим подробнее процесс получения кодовых слов ПСК на основе линейной конгруэнтной генерации [3, 4]. Каждое очередное i -тое число псевдослучайной последовательности произвольного j -го кодового слова генерируется по рекуррентному правилу генерации последовательности ЛКГ при заданном x_0^j :

$$x_{i-1}^j = (a \cdot x_{i-1}^j + b) \bmod m, \quad (2)$$

где a – мультипликативный параметр, b – аддитивный параметр преобразования, \bmod – операция вычисления по модулю m . Величина $m = 2^k$ – мощность алфавита слов ПСК. В дальнейшем изложении для упрощения математических выкладок верхний индекс в обозначении переменных x_i^j использоваться не будет, т.е. номер кодового слова фиксируется $x_i^j \rightarrow x_i$.

Рассмотрим в общем виде предлагаемый метод декодирования такого псевдослучайного помехоустойчивого кода в условиях искажений символов. Этот метод основан на использовании математического алгоритма ветвей и границ для направленного поиска решения. При декодировании кодовых слов

цель операции считается достигнутой, если в условиях возможных искажений правильно определено порождающее число x_0 отрезка псевдослучайной последовательности (ПСП) длиной n чисел. Величина x_0 (первое число в n -символьном кодовом слове) в двоичном представлении однозначно определяет переданную двоичную последовательность источника. Для поиска числа используются все символы ПСП кода, поскольку все они связаны с порождающим числом рекуррентной цепочкой нелинейных вычислений (2). Поскольку в (2) используется нелинейная операция вычисления по модулю, то она является препятствием для реализации не переборного способа декодирования. Поэтому проводится линеаризация операции декодирования, путем введения дополнительного целого неотрицательного числового параметра y , количественное значение которого равно множителю при m в эквивалентном линейном алгебраическом представлении операции вычисления по модулю m . При этом выражение (2) изменяется следующим образом:

$$x_{i+1} = ax_i + b - y_i m, \quad i \in [0, \dots, (n-1)]. \quad (3)$$

Стоит заметить, что выражение (3) справедливо только при выполнении ограничений, которые следуют из математической сути алгоритма ЛКГ ПСК:

$$\begin{aligned} 0 \leq y_i \leq \lfloor ((m-1)a + b)/m \rfloor, \\ y_i - \text{целые}, \quad i \in [0, \dots, (n-2)]. \end{aligned} \quad (4)$$

Для компенсации искажений произвольного исходного кодового слова источника X в результате суммирования с элементами вектора гауссовых случайных величин Ξ для каждого из чисел кодового слова x_i^* , $i \in [0, \dots, n-1]$ введем пару вспомогательных неотрицательных переменных w_{2i+1} , w_{2i+2} , характеризующих возможные двусторонние отклонения числа x_i^* , которые являются следствием действия вектора помехи Ξ . Одна переменная из этой пары входит в расчет со знаком «+», то есть добавляется к искаженному помехой числу x_i^* , а другая – со знаком «-», то есть вычитается из x_i^* . Тогда для наблюдаемого кодового слова $X^* = \{x_0^*, \dots, x_{n-1}^*\}$ можно составить систему уравнений:

$$\begin{cases} x_0 = x_0^* - w_1 + w_2; \\ x_1 = x_0^* - w_3 + w_4; \\ \vdots \\ x_{n-1} = x_{n-1}^* - w_{2n-1} + w_{2n}. \end{cases} \quad (5)$$

Особенности задачи определяют, что в каждом из уравнений (5) одна из пары вспомогательных

переменных w с четным или нечетным индексом должна обязательно равняться нулю, так как отклонение от действия помехи может быть только в сторону уменьшения, либо в сторону увеличения истинного числа. При этом переменные x_i должны удовлетворять неравенству $0 \leq x_i \leq (m-1)$. Поскольку для решения задачи декодирования планируется использовать линейное программирование (ЛП), то левое неравенство данного ограничения (обеспечение неотрицательности) автоматически выполняется по условиям канонической задачи ЛП.

Задачи ЛП в каноническом виде требуют представления всех ограничений области допустимых решений в виде равенств. Поэтому для замены правого неравенства на равенство введем неотрицательные целочисленные вспомогательные переменные $\tilde{x}_n, \tilde{x}_{n+1}, \dots, \tilde{x}_{2n-1}$ и выразим их через остальные переменные уравнений. Получим:

$$\begin{cases} \tilde{x}_n = (m-1-x_0^*) + w_1 - w_2; \\ \tilde{x}_{n+1} = (m-1-x_1^*) + w_3 - w_4; \\ \vdots \\ \tilde{x}_{2n-1} = (m-1-x_{(n-1)/2}^*) + w_{2n-1} - w_{2n}. \end{cases} \quad (6)$$

При выполнении ограничений (6) достигается выполнение следующей системы равенств:

$$\begin{cases} x_0 + \tilde{x}_n = m-1; \\ x_1 + \tilde{x}_{n+1} = m-1; \\ \vdots \\ x_{n-1} + \tilde{x}_{2n-1} = m-1. \end{cases} \quad (7)$$

Для определения величин y_i , которые соответствуют множителям при m в эквивалентном алгебраическом представлении операции вычисления по модулю, на основе (3) и (4) получим:

$$\begin{cases} y_0 = (ax_0^* - x_1^* + b)/m - (a/m)w_1 + (a/m)w_2 + \\ \quad + (1/m)w_3 - (1/m)w_4; \\ \vdots \\ y_{n-2} = (ax_{n-2}^* - x_{n-1}^* + b)/m - (a/m)w_{2n-3} + \\ \quad + (a/m)w_{2n-2} + (1/m)w_{2n-1} - (1/m)w_{2n}. \end{cases} \quad (8)$$

Целевая функция L , минимум которой нужно обеспечить при декодировании в соответствии с рассмотренным выше правилом наименьших проекций, имеет вид:

$$L = \sum_{i=1}^{2n} w_i = w_1 + w_2 + \dots + w_{2i-1} + w_{2i}. \quad (9)$$

Физический смысл целевой функции состоит в нахождении минимальной суммы проекций концов разностного вектора между точкой X^* на выходе канала с помехами и точкой X , из кодовой книги ПСК, которая находится ближе всего к X^* .

Полученные математические выражения (5), (6), (8) и (9) представляют каноническую формулировку основной задачи линейного программирования (ОЗЛП). Для решения данной ОЗЛП целесообразно применить симплекс метод и его реализацию в виде табличного алгоритма. Рассматриваемая ОЗЛП содержит $3n - 1$ уравнений и имеет $5n - 1$ неизвестных переменных. Выберем $2n$ переменных в качестве свободных, а остальные $(3n - 1) - 2n = n - 1$ – в качестве базисных. Базисные переменные выражаются через свободные. Пусть свободными переменными являются w_1, \dots, w_{2n} .

Тогда преобразования уравнений (5), (6), (8) и (9) дает следующую формулировку целочисленной задачи ЛП. Необходимо найти неотрицательные значения переменных x_i, y_j, w_q , удовлетворяющие системе ограничений-равенств (5), (6), (8) и доставляющие минимум целевой функции (9), причем переменные x_i, y_j обязательно должны быть целочисленными. Для решения сформулированной целочисленной задачи ЛП применим табличный алгоритм симплекс-метода. На основе полученных выражений можно построить стартовую симплекс-таблицу (табл. 1).

Таблица 1

Стартовая симплекс-таблица

С.П. Б.П.	С. Ч.	w_1	w_2	w_3	w_4	...	w_{2n-3}	w_{2n-2}	w_{2n-1}	w_{2n}
x_0	x_0^*	1	-1	0	0	...	0	0	0	0
x_1	x_1^*	0	0	1	-1	...	0	0	0	0
\vdots	\vdots	\vdots	\vdots	\vdots	\vdots	...	\vdots	\vdots	\vdots	\vdots
x_{n-1}	x_{n-1}^*	0	0	0	0	...	0	0	1	-1
x_n	$(m-1-x_0^*)$	-1	1	0	0	...	0	0	0	0
x_{n+1}	$(m-1-x_1^*)$	0	0	-1	1	...	0	0	0	0
\vdots	\vdots	\vdots	\vdots	\vdots	\vdots	...	\vdots	\vdots	\vdots	\vdots
x_{2n-1}	$(m-1-x_{n-1}^*)$	0	0	0	0	...	0	0	-1	1
y_0	$\frac{1}{m}(ax_0^* - x_1^* + b)$	$\frac{a}{m}$	$-\frac{a}{m}$	$-\frac{1}{m}$	$\frac{1}{m}$...	0	0	0	0
\vdots	\vdots	\vdots	\vdots	\vdots	\vdots	...	\vdots	\vdots	\vdots	\vdots
y_{n-2}	$\frac{1}{m}(ax_{n-3}^* - x_{n-2}^* + b)$	0	0	0	0	...	$\frac{a}{m}$	$-\frac{a}{m}$	$-\frac{1}{m}$	$\frac{1}{m}$
L	0	-1	-1	-1	-1	...	-1	-1	-1	-1

Правила заполнения таблицы состоят в следующем:

- в первый столбец базисных переменных (Б.П.) вносят имена базисных переменных;
- в первую строку свободных переменных (С.П.) вносятся имена свободных переменных;
- во второй столбец свободных членов (С.Ч.) вносятся свободные члены из уравнений (5), (6), (8) и (9);
- в следующие столбцов, начиная с третьего, вносят коэффициенты при свободных переменных из уравнений (5), (6), (8) и (9), причем знаки этих коэффициентов меняются на противоположные.

Декодирование искаженного помехами кодового слова ПСК сводится к правильному определению значения x_0 – порождающего числа кодового слова ПСК, которое однозначно определяет k -разрядную комбинацию двоичных символов источника.

Стартовая таблица содержит опорный план (вариант решения задачи), в котором значение Б.П. считаются равными элементам в соответствующих строках столбца С.Ч., а значения свободных пере-

менных – равными нулю. В строке целевой функции в столбце С.Ч. находится значение достигнутой величины целевой функции. Это значение используется для реализации направленного поиска решения по методу ветвей и границ. Декодирование на основе метода ветвей и границ является итеративным, что подразумевает построение дерева решений с вершинами минимальных значений опорных планов. Произвольный маршрут по дереву от начальной вершины до некоторой фиксированной вершины определяет допустимую последовательность выбора целочисленных значений для переменных задачи. Главной целью выполнения декодирования предложенным способом является достижение целочисленности переменных x и y при минимально возможном значении целевой функции L.

Формально метод ветвей и границ может быть описан последовательностью следующих этапов.

На первой итерации план табл. 1 анализируется на допустимость на основе содержания ячеек столбца С.Ч.. Если все элементы столбца свободных членов не отрицательные, то план является допусти-

мым. Если все элементы строки целевой функции L (кроме элемента в столбце $C.Ч.$) отрицательны, то план – оптимальный.

Если какой-либо элемент столбца $C.Ч.$ является отрицательным, то план считается не допустимым и таблица модифицируется в соответствии с алгоритмом решения двойственной задачи ЛП. Строка с отрицательным элементом является разрешающей, если таких строк несколько, то выбирается строка, в которой расположен максимальный по абсолютному значению отрицательный элемент. В разрешающей строке ищут элемент, который имеет отрицательный знак. Если таких элементов несколько, то среди них выбирают максимальный по абсолютной величине. Столбец, в котором расположен этот элемент считают разрешающим. На пересечении разрешающих столбца и строки располагается разрешающий элемент.

Для перехода к следующему плану задачи, выполняется модификация таблицы с обменом расположения между парой «свободная-базисная» переменная из заголовков решаемых строки и столбца и проводится перерасчет содержания ячеек следующим образом:

- заголовки переменных, соответствующих разрешающим столбцу и строке, меняются местами;
- разрешающий элемент меняется на обратный;
- элементы решаемой строки делятся на разрешающий элемент;
- элементы разрешающего столбца делятся на разрешающий элемент и меняют знак на противоположный;
- ко всем остальным элементам из старой таблицы прибавляется произведение элемента разрешающей строки старой таблицы, который располагается в том же столбце, на элемент разрешающего столбца новой таблицы, который располагается в той же строке.

После завершения модификации, полученная таблица повторно анализируется на допустимость. После получения допустимого плана, он анализируется на оптимальность.

Если в строке целевой функции есть хоть один положительный элемент, то план не оптимальный и таблица модифицируется в соответствии с алгоритмом решения прямой задачи ЛП. Суть данной операции состоит в следующем. Столбец, в котором находится положительный элемент, выбирается в качестве разрешающего столбца. Если таких элементов несколько, то среди них выбирают максимальный. В разрешающем столбце анализируются элементы, которые совпадают по знаку с соответствующим элементом в столбце $C.Ч.$ той же строки. Если таких совпадающих по знаку пар элементов несколько, то необходимо вычислить отношение свободного члена к соответствующему элементу

разрешающего столбца. Разрешающей строкой считается строка, имеющая минимальное значение данного отношения. Разрешающим является элемент, который находится на пересечении разрешающих столбца и строки.

Таблица модифицируется и содержание ячеек пересчитывается по правилам, которые рассмотрены выше. После этого модифицированная таблица снова проверяется на допустимость и оптимальность плана. Эти итерации циклически повторяются до того момента, пока не будет получен допустимый и оптимальный план, который называется опорным планом задачи. Далее полученный опорный план анализируется на целочисленность. Поскольку искомые переменные $x_i, i \in [0, \dots, (2n-1)]$ и $y_j, j \in [0, \dots, (n-2)]$ должны быть целыми, то соответствующие им ячейки столбца $C.Ч.$ должны содержать целые числа. Первая строка при построчном рассмотрении строк целочисленных переменных, в которой встретилось не целое число, определяет имя (x_i, y_j или w_k) переменной, для которой необходимо сформировать дополнительное ограничение целочисленности.

Для уменьшения вычислительной сложности данного метода декодирования предлагается использовать модифицированный метод ветвей и границ. Суть данной модификации заключается в предоставлении приоритета анализа на целочисленность только переменных y_j , поскольку экспериментально установлено, что достижение их целочисленности, практически, гарантирует целочисленность и остальных переменных задачи декодирования. Введение этой модификации существенно сокращает количество итераций поиска решения, и, как следствие, уменьшает вычислительную сложность процедуры декодирования ПСК.

Дополнительное ограничение формируется путем введения в опорный план дополнительной строки для дополнительной вспомогательной базисной переменной. Механизм введения дополнительных ограничений будет детально рассматриваться ниже при изложении конкретного примера реализации решения задачи декодирования. На основе дополнительных ограничений выполняется ветвление дерева решений. Предположим, что для обеспечения целочисленности выбрана переменная y_i . Область допустимых решений нулевого шага задачи $G^{(0)}$, разбивается на две непересекающиеся подобласти для следующего шага $G_1^{(1)}$ и $G_2^{(1)}$ на основе правила:

$$\begin{aligned} G_1^{(1)} &= \{Y \in G^{(0)}, y_i \leq \lfloor y_i \rfloor\}; \\ G_2^{(1)} &= \{Y \in G^{(0)}, y_i \geq \lceil y_i \rceil\}. \end{aligned} \quad (10)$$

Правило (10) означает, что в новых областях значение переменной y_i необходимо уменьшить до

ближайшего меньшего целого числа $\lfloor y_i \rfloor$, или, наоборот, увеличить до ближайшего большего целого числа $\lceil y_i \rceil$. После чего, по описанной выше технологии, необходимо последовательно найти опорные планы задач для областей $G_1^{(1)}$ и $G_2^{(1)}$.

После выполнения ветвления и формирования ограничений полученные опорные планы анализируются на допустимость и оптимальность, при необходимости выполняется модификация и перерасчет таблиц, а также их анализ на целочисленность. Действия, изложенные выше, итеративно повторяют до того момента пока все элементы в строках столбца С.Ч., соответствующие целочисленным переменным, не станут целыми. При этом некоторые целочисленные переменные могут выйти в состав свободных, то есть оказаться равными нулю.

2. Декодирование ПСК на основе модифицированного метода ветвей и границ

Рассмотрим конкретный пример применения предложенного метода для декодирования псевдослучайного помехоустойчивого кода на основе использования модифицированного метода ветвей и границ. Пусть параметры псевдослучайного помехоустойчивого кода составляют значения: $k = 5$, $n = 5$. Для технологии ЛКГ выбираем такие параметры: $m = 2^k = 32$, $a = 5$, $b = 19$. Последовательно перебирая номера двоичных последовательностей на длине $k = 5$ символов $x_0 = 0, 1, \dots, 31$ и используя правило (2) для вычисления символов кодовых слов, получим кодовую книгу ПСК, представленную в табл. 2.

Таблица 2

Кодовые последовательности полной кодовой книги ПСК

x_0	X	x_0	X	x_0	X	x_0	X
0	0, 19, 18, 13, 20	8	8, 27, 26, 21, 28	16	16, 3, 2, 29, 4	24	24, 11, 10, 5, 12
1	1, 24, 11, 10, 5	9	9, 0, 19, 18, 13	17	17, 8, 27, 26, 21	25	25, 16, 3, 2, 29
2	2, 29, 4, 7, 22	10	10, 5, 12, 15, 30	18	18, 13, 20, 23, 6	26	26, 21, 28, 31, 14
3	3, 2, 29, 4, 7	11	11, 10, 5, 12, 15	19	19, 18, 13, 20, 23	27	27, 26, 21, 28, 31
4	4, 7, 22, 1, 24	12	12, 15, 30, 9, 0	20	20, 23, 6, 17, 8	28	28, 31, 14, 25, 16
5	5, 12, 15, 30, 9	13	13, 20, 23, 6, 17	21	21, 28, 31, 14, 25	29	29, 4, 7, 22, 1
6	6, 17, 8, 27, 26	14	14, 25, 16, 3, 2	22	22, 1, 24, 11, 10	30	30, 9, 0, 19, 18
7	7, 22, 1, 24, 11	15	15, 30, 9, 0, 19	23	23, 6, 17, 8, 27	31	31, 14, 25, 16, 3

Пусть для передачи по каналу выбрано кодовое слово, порождаемое числом $x_0 = 0$, то есть $X = \{0, 19, 18, 13, 20\}$, которое в результате суммирования с вектором шума Ξ приобретает вид $X^* = \{0, 18, 22, 15, 20\}$. Для упрощения рассмотрения примера искаженные при передаче числа кодового слова округлены до целых значений. На основе выражений (5), (6), (8) и (9) и в соответствии с правилами заполнения стартовой симплекс-таблицы (табл. 1) получим стартовую таблицу данного примера (табл. 3). Табл. 3 так же, как и последующие, получена с помощью табличного процессора. Разрядность чисел в таблице ограничена четырьмя знаками после десятичной запятой, хотя при вычислении значений ячеек процессором используются числа без ограничения разрядности. Поэтому влияние ошибок округления при вычислениях исключено.

Табл. 3 содержит допустимый, оптимальный опорный план нецелочисленной задачи ЛП (элементы столбца СЧ – неотрицательны, а элементы строки L – не положительны). Однако план не удовлетворяет условию целочисленности (в столбце СЧ в строках $y_0 \div y_3$ находятся не целые значения). В соответствии с разработанным модифицированным методом ветвей и границ для формирования дополнительного ограничения области $G_1^{(1)}$ выбирается первая встре-

тившаяся (при рассмотрении строк табл. 3 сверху вниз), не целая переменная y_0 таким образом, чтобы переменная y_0 , равная в табл. 3 величине 0,0312, получила значение ближайшего меньшего целого числа $\lfloor y_0 \rfloor = 0$. Для этого требуется выполнение неравенства $y_0 \leq 0$. Для формирования строки данного ограничения в новой таблице необходимо выполнить переход от ограничения-неравенства к ограничению-равенству, путем введения дополнительной неотрицательной переменной v : $y_0 + v = 0$. Выразим переменную v , как базисную:

$$v = 0 - y_0. \tag{11}$$

Определение y_0 в виде линейной комбинации свободных переменных задается строкой y_0 табл. 3:

$$y_0 = 0,1562w_1 - 0,1562w_2 - 0,0312w_3 - 0,0312w_4 + 0,0312. \tag{12}$$

Используя (12) в (11), сформируем уравнение дополнительного ограничения:

$$v = -0,0312 - 0,1562w_1 + 0,1562w_2 + 0,0312w_3 - 0,0312w_4. \tag{13}$$

На основе (13) в опорный план вводится дополнительная строка для фиктивной переменной v . В результате размерность таблицы увеличивается, и она трансформируется к виду, показанному в табл. 4.

Таблиця 3

Первая итерация (шаг 1)

	СЧ	w1	w2	w3	w4	w5	w6	w7	w8	w9	w10
x0	0	1	-1	0	0	0	0	0	0	0	0
x1	18	0	0	1	-1	0	0	0	0	0	0
x2	22	0	0	0	0	1	-1	0	0	0	0
x3	15	0	0	0	0	0	0	1	-1	0	0
x4	20	0	0	0	0	0	0	0	0	1	-1
x5	31	-1	1	0	0	0	0	0	0	0	0
x6	13	0	0	-1	1	0	0	0	0	0	0
x7	9	0	0	0	0	-1	1	0	0	0	0
x8	16	0	0	0	0	0	0	-1	1	0	0
x9	11	0	0	0	0	0	0	0	0	-1	1
y0	0,031	0,1562	-0,1562	-0,0312	0,0312	0	0	0	0	0	0
y1	2,718	0	0	0,1562	-0,1562	-0,0312	0,03125	0	0	0	0
y2	3,562	0	0	0	0	0,1562	-0,1562	-0,0312	0,0312	0	0
y3	2,312	0	0	0	0	0	0	0,1562	-0,1562	-0,0312	0,0312
L	0	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1

Таблиця 4

Первая итерация (шаг 1) с дополнительным ограничением

	СЧ	w1	w2	w3	w4	w5	w6	w7	w8	w9	w10
x0	0	1	-1	0	0	0	0	0	0	0	0
x1	18	0	0	1	-1	0	0	0	0	0	0
x2	22	0	0	0	0	1	-1	0	0	0	0
x3	15	0	0	0	0	0	0	1	-1	0	0
x4	20	0	0	0	0	0	0	0	0	1	-1
x5	31	-1	1	0	0	0	0	0	0	0	0
x6	13	0	0	-1	1	0	0	0	0	0	0
x7	9	0	0	0	0	-1	1	0	0	0	0
x8	16	0	0	0	0	0	0	-1	1	0	0
x9	11	0	0	0	0	0	0	0	0	-1	1
y0	0,0312	0,1562	-0,1562	-0,0312	0,0312	0	0	0	0	0	0
y1	2,7187	0	0	0,1562	-0,1562	-0,0312	0,0312	0	0	0	0
y2	3,5625	0	0	0	0	0,1562	-0,1562	-0,0312	0,0312	0	0
y3	2,3125	0	0	0	0	0	0	0,1562	-0,1562	-0,0312	0,0312
v	-0,031	-0,1562	0,1562	0,0312	-0,0312	0	0	0	0	0	0
L	0	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1

Табл. 4, составленная для подобласти $G_1^{(1)}$, содержит недопустимый план, поскольку в столбце СЧ находится отрицательный элемент. В соответствии с описанными выше правилами необходимо выполнить решение двойственной задачи, для этого выбирается разрешающая строка – строка ограничения v , разрешающий столбец – столбец переменной w_1 и разрешающий элемент, расположенный на пересечении строки v и столбца w_1 (см. выделенные элементы в табл. 4). Для перехода к допустимому плану необходимо выполнить модификацию и перерасчет табл. 4 в соответствии с правилами, которые рассматривались выше. Модификация плана дает табл. 5.

Полученное в табл. 5 решение анализируется на допустимость. Поскольку план не допустим, то необходимо выполнить его модификацию. В качестве разрешающей строки выбирается x_0 , а разрешающего столбца – w_4 . Перерасчет дает табл. 6.

Табл. 6 содержит допустимый и оптимальный опорный план. Данный план отмечается на дереве решений (рис. 1) соответствующей вершиной $G_1^{(1)}$, которой соответствует значение целевой функции $L = 1$.

Ограничение для области $G_2^{(1)}$ стоит таким образом, чтобы переменная y_0 получила значение ближайшего большего целого числа $\lceil y_0 \rceil = 1$. Для этого требуется выполнение неравенства $y_0 \geq 1$. Для перехода от ограничения-неравенства к ограничению-равенству введем дополнительную неотрицательную переменную v : $y_0 - v = 0$, или:

$$v = y_0 - 1. \quad (14)$$

Для обозначения дополнительной переменной в (14) использовано то же самое имя v , поскольку все фиктивные переменные являются вспомогательными, а их величина при достижении окончательного решения задачи не имеет значения.

Таблица 5

Модификация стартовой табл. 4 (шаг 1)

	СЧ	v	w2	w3	w4	w5	w6	w7	w8	w9	w10
x0	-0,2	6,4	0	0,2	-0,2	0	0	0	0	0	0
x1	18	0	0	1	-1	0	0	0	0	0	0
x2	22	0	0	0	0	1	-1	0	0	0	0
x3	15	0	0	0	0	0	0	1	-1	0	0
x4	20	0	0	0	0	0	0	0	0	1	-1
x5	31,2	-6,4	0	-0,2	0,2	0	0	0	0	0	0
x6	13	0	0	-1	1	0	0	0	0	0	0
x7	9	0	0	0	0	-1	1	0	0	0	0
x8	16	0	0	0	0	0	0	-1	1	0	0
x9	11	0	0	0	0	0	0	0	0	-1	1
y0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
y1	2,7187	0	0	0,1562	-0,1562	-0,0312	0,0312	0	0	0	0
y2	3,5625	0	0	0	0	0,1562	-0,1562	-0,0312	0,0312	0	0
y3	2,3125	0	0	0	0	0	0	0,1562	-0,1562	-0,0312	0,0312
w1	0,2	-6,4	-1	-0,2	0,2	0	0	0	0	0	0
L	0,2	-6,4	-2	-1,2	-0,8	-1	-1	-1	-1	-1	-1

Таблица 6

Модификация табл. 5 (шаг 1)

	СЧ	v	w2	w3	x0	w5	w6	w7	w8	w9	w10
w4	1	-32	0	-1	-5	0	0	0	0	0	0
x1	19	-32	0	0	-5	0	0	0	0	0	0
x2	22	0	0	0	0	1	-1	0	0	0	0
x3	15	0	0	0	0	0	0	1	-1	0	0
x4	20	0	0	0	0	0	0	0	0	1	-1
x5	31	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0
x6	12	32	0	0	5	0	0	0	0	0	0
x7	9	0	0	0	0	-1	1	0	0	0	0
x8	16	0	0	0	0	0	0	-1	1	0	0
x9	11	0	0	0	0	0	0	0	0	-1	1
y0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
y1	2,875	-5	0	0	-0,7812	-0,0312	0,0312	0	0	0	0
y2	3,5625	0	0	0	0	0,1562	-0,1562	-0,0312	0,0312	0	0
y3	2,3125	0	0	0	0	0	0	0,1562	-0,1562	-0,0312	0,0312
w1	0	0	-1	0	1	0	0	0	0	0	0
L	1	-32	-2	-2	-4	-1	-1	-1	-1	-1	-1

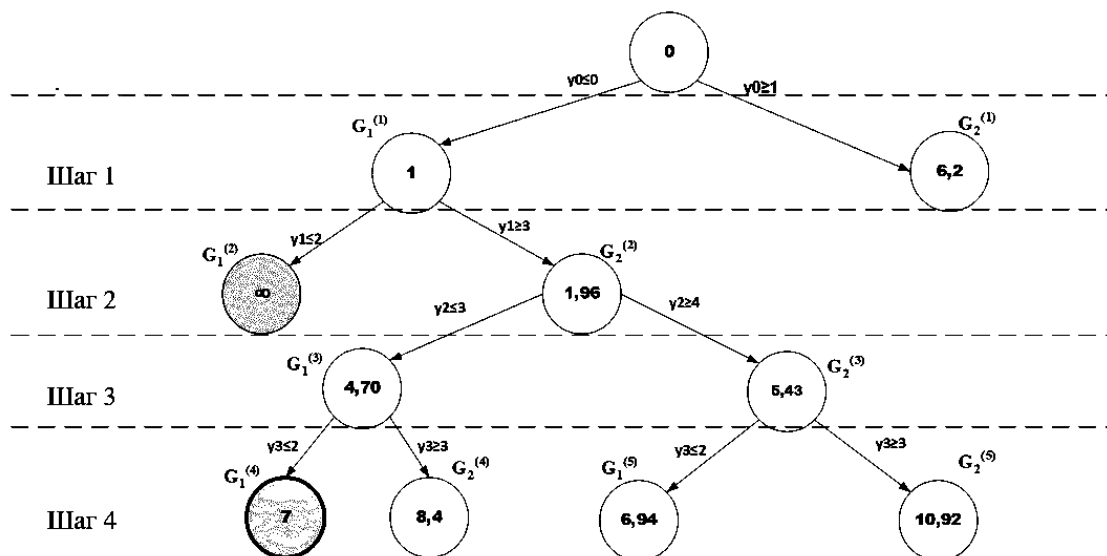


Рис. 1. Дерево решений для модифицированного метода ветвей и границ

Более того, если при получении промежуточно-го опорного плана любая дополнительная фиктивная переменная окажется в составе базисных переменных задачи (в заголовке произвольной строки), то для сокращения размерности таблиц соответствующая строка подлежит простому удалению. Выражение y_0 через значения свободных переменных дает:

$$v = -0,968 + 0,1562w_1 - 0,1562w_2 - 0,0312w_3 + 0,0312w_4, \tag{16}$$

что позволяет ввести в табл. 7 строку дополнительного ограничения.

Табл. 7, составленная для подмножества $G_2^{(1)}$, содержит недопустимый план, поскольку в столбце СЧ находится отрицательный элемент. В соответствии с описанными выше правилами, необходимо выбрать в качестве разрешающей строки – строку

ограничения v , а в качестве разрешающего столбца – столбец w_2 .

Для достижения допустимости плана необходимо выполнить модификацию табл. 7. В результате приходим к табл. 8. Допустимый и оптимальный опорный план табл. 8 на дереве решений (рис. 1) отмечен вершиной $G_2^{(1)}$ и соответствует значению целевой функции $L = 6,2$.

Вершины $G_1^{(1)}$ и $G_2^{(1)}$ первого шага решения, которые соответствуют табл. 6 и 8, подлежат дальнейшему ветвлению с целью достижения целых значений остальных целочисленных переменных.

Выбор очередной вершины (таблицы) среди «висящих» вершин дерева решений для последующего ветвления осуществляется с точки зрения ее наибольшей перспективности.

Таблица 7

Вторая итерация с дополнительным ограничением (шаг 1)

	СЧ	w1	w2	w3	w4	w5	w6	w7	w8	w9	w10
x0	0	1	-1	0	0	0	0	0	0	0	0
x1	18	0	0	1	-1	0	0	0	0	0	0
x2	22	0	0	0	0	1	-1	0	0	0	0
x3	15	0	0	0	0	0	0	1	-1	0	0
x4	20	0	0	0	0	0	0	0	0	1	-1
x5	31	-1	1	0	0	0	0	0	0	0	0
x6	13	0	0	-1	1	0	0	0	0	0	0
x7	9	0	0	0	0	-1	1	0	0	0	0
x8	16	0	0	0	0	0	0	-1	1	0	0
x9	11	0	0	0	0	0	0	0	0	-1	1
y0	0,0312	0,1562	-0,1562	-0,0312	0,0312	0	0	0	0	0	0
y1	2,7187	0	0	0,1562	-0,1562	-0,0312	0,0312	0	0	0	0
y2	3,5625	0	0	0	0	0,1562	-0,1562	-0,0312	0,0312	0	0
y3	2,312	0	0	0	0	0	0	0,1562	-0,1562	-0,0312	0,0312
v	-0,968	0,1562	-0,1562	-0,0312	0,0312	0	0	0	0	0	0
L	0	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1

Таблица 8

Модификация табл. 7 (шаг 1)

	СЧ	w1	v	w3	w4	w5	w6	w7	w8	w9	w10
x0	6,2	0	-6,4	0,2	-0,2	0	0	0	0	0	0
x1	18	0	0	1	-1	0	0	0	0	0	0
x2	22	0	0	0	0	1	-1	0	0	0	0
x3	15	0	0	0	0	0	0	1	-1	0	0
x4	20	0	0	0	0	0	0	0	0	1	-1
x5	24,8	0	6,4	-0,2	0,2	0	0	0	0	0	0
x6	13	0	0	-1	1	0	0	0	0	0	0
x7	9	0	0	0	0	-1	1	0	0	0	0
x8	16	0	0	0	0	0	0	-1	1	0	0
x9	11	0	0	0	0	0	0	0	0	-1	1
y0	1	0	-1	0	0	0	0	0	0	0	0
y1	2,7187	0	0	0,1562	-0,1562	-0,0312	0,0312	0	0	0	0
y2	3,562	0	0	0	0	0,1562	-0,1562	-0,0312	0,0312	0	0
y3	2,312	0	0	0	0	0	0	0,1562	-0,1562	-0,0312	0,0312
w2	6,2	-1	-6,4	0,2	-0,2	0	0	0	0	0	0
L	6,2	-2	-6,4	-0,8	-1,2	-1	-1	-1	-1	-1	-1

Для получения следующего опорного плана выбирается таблица, которая имеет наименьшее (среди «висящих» вершин) значение целевой функции. В данном случае следующей вершиной дерева решений для ветвления будет вершина, соответствующая табл. 6 и обладающая значением $L = 1$.

На втором шаге выбирается очередная, не целая переменная y_1 для формирования дополнительного ограничения области $G_1^{(2)}$ таким образом, чтобы выбранная y_1 , равная в табл. 6 величине

2,875, приобрела значение ближайшего меньшего целого числа $\lfloor y_1 \rfloor = 2$. Дополнительное ограничение формируется по примеру выражений (12) и (16), что приводит к табл. 9. Табл. 9, составленная для подмножества $G_1^{(2)}$, содержит недопустимый план, поскольку в столбце СЧ находится отрицательный элемент. Выбор разрешающих строки и столбца v , w_6 , а также последующая модификация таблицы приводят к плану, представленному в табл. 10.

Таблица 9

Первая итерация (шаг 2)

	СЧ	v	w2	w3	x0	w5	w6	w7	w8	w9	w10
w4	1	-32	0	-1	-5	0	0	0	0	0	0
x1	19	-32	0	0	-5	0	0	0	0	0	0
x2	22	0	0	0	0	1	-1	0	0	0	0
x3	15	0	0	0	0	0	0	1	-1	0	0
x4	20	0	0	0	0	0	0	0	0	1	-1
x5	31	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0
x6	12	32	0	0	5	0	0	0	0	0	0
x7	9	0	0	0	0	-1	1	0	0	0	0
x8	16	0	0	0	0	0	0	-1	1	0	0
x9	11	0	0	0	0	0	0	0	0	-1	1
y0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
y1	2,875	-5	0	0	-0,7812	-0,0312	0,0312	0	0	0	0
y2	3,5625	0	0	0	0	0,1562	-0,1562	-0,0312	0,0312	0	0
y3	2,3125	0	0	0	0	0	0	0,1562	-0,1562	-0,0312	0,0312
w1	0	0	-1	0	1	0	0	0	0	0	0
v	-0,875	5	0	0	0,7812	0,0312	-0,0312	0	0	0	0
L	1	-32	-2	-2	-4	-1	-1	-1	-1	-1	-1

Таблица 10

Модификация табл. 9 (шаг 2)

	СЧ	v	w2	w3	x0	w5	v	w7	w8	w9	w10
w4	1	-32	0	-1	-5	0	0	0	0	0	0
x1	19	-32	0	0	-5	0	0	0	0	0	0
x2	50	-160	0	0	-25	0	-32	0	0	0	0
x3	15	0	0	0	0	0	0	1	-1	0	0
x4	20	0	0	0	0	0	0	0	0	1	-1
x5	31	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0
x6	12	32	0	0	5	0	0	0	0	0	0
x7	-19	160	0	0	25	0	32	0	0	0	0
x8	16	0	0	0	0	0	0	-1	1	0	0
x9	11	0	0	0	0	0	0	0	0	-1	1
y0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
y1	2	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0
y2	7,937	-25	0	0	-3,9062	0	-5	-0,0312	0,0312	0	0
y3	2,312	0	0	0	0	0	0	0,1562	-0,1562	-0,0312	0,0312
w1	0	0	-1	0	1	0	0	0	0	0	0
w6	28	-160	0	0	-25	-1	-32	0	0	0	0
L	29	-192	-2	-2	-29	-2	-32	-1	-1	-1	-1

Табл. 10 содержит не допустимый план (отрицательное число в строке x_7 столбца СЧ). Поскольку остальных числа в данной строке неотрицательны, то продолжение вычислений для данной табли-

цы не имеет смысла, так как невозможно избавиться от недопустимого решения. План, полученный в табл. 10, на дереве решений (рис. 1) отмечен вершиной $G_1^{(2)}$, которой соответствует значение целевой

функції $L = \infty$. Вершина $G_1^{(2)}$ являється конечной в ветви, и дальнейшему ветвлению не подлежит.

Очередное ограничение для области $G_2^{(2)}$ строится таким образом, чтобы переменная y_1 получила значение ближайшего большего целого числа $\lceil y_1 \rceil = 3$. Дополнительное ограничение, сформированное по примеру выражения (16), приводит к плану табл. 11.

Табл. 11 содержит недопустимый план, поскольку в столбце СЧ находится отрицательный элемент. В соответствии с описанным выше правилами, разрешающими для модификации план должны быть строка и столбец дополнительных пере-

менных v (обмен расположения между двумя дополнительными фиктивными переменными).

Модификация приводит к табл. 12.

Для избавления от недопустимого плана необходимо выполнить обмен – значение $y_0 \leftrightarrow x_0$.

Соответствующие преобразования приводят к плану, представленному в табл. 13.

Табл. 13 содержит допустимый и оптимальный опорный план.

Важным моментом является возможность удаления строки фиктивной переменной v в табл. 13 при переходе к следующему опорному плану и использование очищенной строки для записи нового нужного ограничения.

Таблица 11

Вторая итерация (шаг 2)

	СЧ	v	w2	w3	x0	w5	w6	w7	w8	w9	w10
w4	1	-32	0	-1	-5	0	0	0	0	0	0
x1	19	-32	0	0	-5	0	0	0	0	0	0
x2	22	0	0	0	0	1	-1	0	0	0	0
x3	15	0	0	0	0	0	0	1	-1	0	0
x4	20	0	0	0	0	0	0	0	0	1	-1
x5	31	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0
x6	12	32	0	0	5	0	0	0	0	0	0
x7	9	0	0	0	0	-1	1	0	0	0	0
x8	16	0	0	0	0	0	0	-1	1	0	0
x9	11	0	0	0	0	0	0	0	0	-1	1
y0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
y1	2,875	-5	0	0	-0,7812	-0,0312	0,0312	0	0	0	0
y2	3,5625	0	0	0	0	0,1562	-0,1562	-0,0312	0,0312	0	0
y3	2,3125	0	0	0	0	0	0	0,1562	-0,1562	-0,0312	0,0312
w1	0	0	-1	0	1	0	0	0	0	0	0
v	-0,125	-5	0	0	-0,7812	-0,0312	0,0312	0	0	0	0
L	1	-32	-2	-2	-4	-1	-1	-1	-1	-1	-1

Таблица 12

Модификация табл. 11 (шаг 2)

	СЧ	v	w2	w3	x0	w5	w6	w7	w8	w9	w10
w4	1,8	-6,4	0	-1	0	0,2	-0,2	0	0	0	0
x1	19,8	-6,4	0	0	0	0,2	-0,2	0	0	0	0
x2	22	0	0	0	0	1	-1	0	0	0	0
x3	15	0	0	0	0	0	0	1	-1	0	0
x4	20	0	0	0	0	0	0	0	0	1	-1
x5	31	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0
x6	11,2	6,4	0	0	0	-0,2	0,2	0	0	0	0
x7	9	0	0	0	0	-1	1	0	0	0	0
x8	16	0	0	0	0	0	0	-1	1	0	0
x9	11	0	0	0	0	0	0	0	0	-1	1
y0	-0,025	0,2	0	0	-0,1562	-0,0062	0,0062	0	0	0	0
y1	3	-1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
y2	3,5625	0	0	0	0	0,1562	-0,1562	-0,0312	0,0312	0	0
y3	2,3125	0	0	0	0	0	0	0,1562	-0,1562	-0,0312	0,0312
w1	0	0	-1	0	1	0	0	0	0	0	0
v	0,025	-0,2	0	0	0,1562	0,0062	-0,0062	0	0	0	0
L	1,8	-6,4	-2	-2	1	-0,8	-1,2	-1	-1	-1	-1

Модификация табл. 12 (шаг 2)

	СЧ	v	w1	w3	y0	w5	w6	w7	w8	w9	w10
w4	1,8	-6,4	0	-1	0	0,2	-0,2	0	0	0	0
x1	19,8	-6,4	0	0	0	0,2	-0,2	0	0	0	0
x2	22	0	0	0	0	1	-1	0	0	0	0
x3	15	0	0	0	0	0	0	1	-1	0	0
x4	20	0	0	0	0	0	0	0	0	1	-1
x5	30,84	1,28	0	0	6,4	-0,04	0,04	0	0	0	0
x6	11,2	6,4	0	0	0	-0,2	0,2	0	0	0	0
x7	9	0	0	0	0	-1	1	0	0	0	0
x8	16	0	0	0	0	0	0	-1	1	0	0
x9	11	0	0	0	0	0	0	0	0	-1	1
x0	0,16	-1,28	0	0	-6,4	0,04	-0,04	0	0	0	0
y1	3	-1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
y2	3,5625	0	0	0	0	0,1562	-0,1562	-0,0312	0,0312	0	0
y3	2,3125	0	0	0	0	0	0	0,1562	-0,1562	-0,0312	0,0312
w1	0,16	-1,28	-1	0	-6,4	0,04	-0,04	0	0	0	0
v											
L	1,96	-7,68	-2	-2	-6,4	-0,76	-1,24	-1	-1	-1	-1

Опорный план, который получен в табл. 13, отмечен вершиной $G_2^{(2)}$ на дереве решений (рис. 1) и соответствует значению целевой функции

$$L = 1,96.$$

Данная вершина соответствует наименьшему значению целевой функции из всех имеющихся «висящих» вершин. Поэтому данная вершина и, соответственно,

Табл. 13 выбираются для дальнейшего ветвления при достижении целочисленности очередной переменной y_2 .

Шаги решения повторяются до достижения целочисленности всех элементов столбца СЧ. При этом постепенно определяются перспективные и конечные вершины дерева решений. От шага к шагу количество конечных (не перспективных и не подлежащих ветвлению) вершин начинает увеличиваться, и задача быстро стремится к единственному оптимальному целочисленному решению, которое соответствует наименьшему достижимому значению целевой функции. При этом полученная величина L соответствует минимальной величине суммы длин проекций вектора помехи Ξ , что обеспечивает реализацию предложенного правила декодирования (ПНП). Полный процесс декодирования для рассматриваемого примера иллюстрируется деревом на рис. 1.

Конечной является вершина $G_1^{(4)}$, соответствующая плану решения, который представлен в табл. 14, при этом достигается значение целевой функции $L=7$, а найденное значение переменной

$x_0 = 0$ определяет наиболее вероятное (по ПМП) декодированное кодовое слово.

На рис. 2 для примера показано дерево решений, полученное путем декодирования ПСК на основе классического метода ветвей и границ, не использующего приоритетности при переборе переменных для достижения их целочисленности.

Как следует из анализа дерева решений, цель декодирования достигается уже на уровне 4-го шага итераций, однако процесс ветвления продолжается до 7-го шага, что вызвано необходимостью проверки всех «висящих» перспективных вершин и подтверждения правильности декодирования.

Важным при сравнении результатов, полученных на рис. 1 и 2, является тот факт, что при использовании предложенного модифицированного метода перебора целочисленных переменных, значения целевой функции в узлах дерева увеличиваются быстрее (при возрастании номера шага ветвлений), в отличие от значений на рис. 2.

Это позволяет сделать вывод о том, что вычислительная сложность метода декодирования ПСК на основе модифицированного метода ветвей и границ существенно уменьшается за счет ввода приоритета для достижения целочисленности переменных y , выполняющих функцию линеаризации операций вычисления по модулю m .

Приблизительная оценка приращения вычислительной эффективности в рассмотренном примере может быть определена простым вычислением отношения количества узлов деревьев решений, показанных на рис. 1 и 2: $21/11 \approx 1,91$ раз.

Таблиця 14

Финальная таблица (шаг 4)

	СЧ	v	w1	w3	y0	v	w6	v	w8	w9	w10
w4	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0
x1	19	0	0	1	0	1	0	0	0	0	0
x2	18	32	0	5	0	5	0	0	0	0	0
x3	13	160	0	25	0	25	0	32	0	0	0
x4	20	0	0	0	0	0	0	0	0	1	-1
x5	31	0	0	-0,2	6,4	-0,2	0	0	0	0	0
x6	12	0	0	-1	0	-1	0	0	0	0	0
x7	13	-32	0	-5	0	-5	0	0	0	0	0
x8	18	-160	0	-25	0	-25	0	-32	0	0	0
x9	11	0	0	0	0	0	0	0	0	-1	1
x0	0	0	0	0,2	-6,4	0,2	0	0	0	0	0
y1	3	-1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
y2	3	0	0	0	0	0	0	-1	0	0	0
y3	2	25	0	3,9062	0	3,9062	0	5	0	-0,0312	0,0312
w2	0	0	-1	0,2	-6,4	0,2	0	0	0	0	0
w5	4	-32	0	-5	0	-5	-1	0	0	0	0
w7	2	-160	0	-25	0	-25	0	-32	-1	0	0
L	7	-192	-2	-30,8	-6,4	-28,8	-2	-32	-2	-1	-1

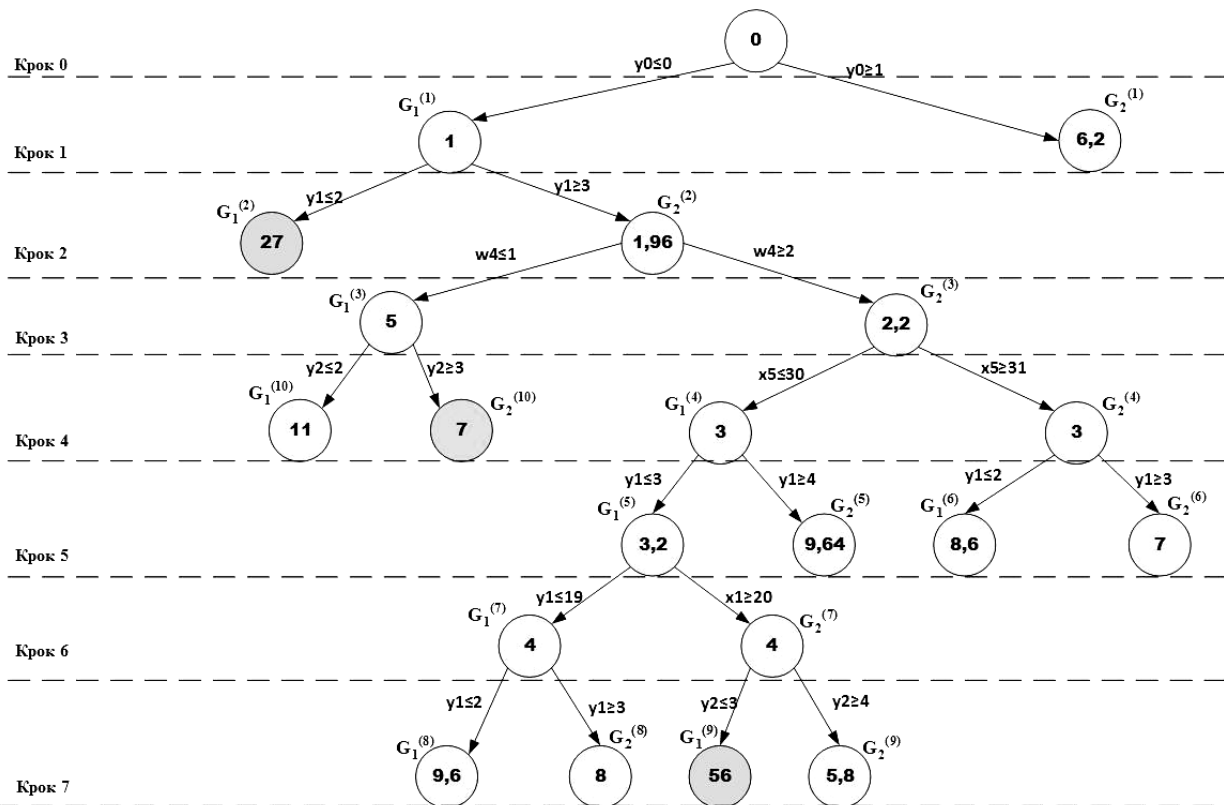


Рис. 2. Дерево решений для классического метода ветвей и границ

Оценка вычислительной сложности декодирования ПСК

Для подтверждения факта получения конструктивного метода декодирования ПСК, обладающего вычислительной сложностью не выше полиномиальной целесообразно его сравнение с методом простого перебора. Для оценки вычислительной сложности декодирования ПСК разработанным модифи-

цированным методом ветвей и границ используем известный результат [5], доказывающий, что верхний предел количества вершин дерева решений для классического алгоритма составляет величину:

$$S \approx N^5 \log_2 N, \tag{17}$$

где N – эффективное значение количества неизвестных переменных задачи.

С учетом количества элементарных операций (умножения и сложения), которые выполняются при модификации одной симплекс таблицы размером $(3n-1) \times (2n)$ ячеек (как в примере, рассмотренном выше) задачи ЛП, используя (17), можно определить общее количество элементарных операций при решении задачи декодирования:

$$S = N^5 \log_2 N \cdot 2 \cdot (3n-1) \cdot (2n). \quad (18)$$

Известно [6], что при решении задач линейного программирования для получения произвольно допустимого и оптимального опорного плана необходимо выполнить, примерно, не более $N/2$ итераций пересчета таблиц. Поэтому конечная оценка количества выполняемых элементарных составляет:

$$\begin{aligned} S &= N^5 \log_2 N \cdot 2 \cdot (3n-1) \cdot (2n) \cdot N/2 = \\ &= N^6 \log_2 N \cdot (3n-1) \cdot (2n). \end{aligned} \quad (19)$$

Величина N для рассматриваемой задачи оценивается исходя из следующих соображений. Общее количество переменных базиса задачи в стартовой таблице составляет $3n-2$, где n - длина блока ПСК. При ветвлении узлов дерева решений в соответствии с модифицированным методом ветвей и границ, приоритет отдается достижению целочисленности переменных $y_i, i \in [0, \dots, n-2]$. Достижение целочисленности переменных y_i , практически, гарантирует достижение полного решения задачи (все переменные x также окажутся целыми). При этом наблюдается наиболее быстрое приближение к решению (решение достигается за меньшее количество шагов).

В состав базисных переменных входят также переменные x и \tilde{x} (табл. 15). Однако обращение к строкам этих переменных при вводе условий целочисленности выполняются крайне редко. Для переменных x формируются ограничения только в случае, если соответствующая переменная окажется за пределами допустимого диапазона значений $[0 \dots m-1]$. Вероятность данного случая при условии равномерного распределения чисел, и исключении возможности появления в кодовом слове двух одинаковых чисел составляет $2/2^n$ - для переменных x и $1/2^n$ для переменных \tilde{x} . Соответствующие вероятностные весовые коэффициенты, которые определяют вес переменных x, \tilde{x} и y при вычислении эффективного количества переменных N задачи ЛП представлены в табл. 15 (третий столбец).

Использование представленных в табл. 15 весовых коэффициентов позволяет определить величину эффективного значения количества неизвестных переменных задачи N в виде:

$$N = (n-1) + n \cdot 2^{-n} + n \cdot 2^{-(n-1)}. \quad (20)$$

Таблица 15

Весовые коэффициенты переменных

Количество переменных	Имя и диапазон размещения	Весовые коэффициенты
n	$x_i, i \in [0, \dots, n-1]$	$2^{-(n-1)}$
n	$\tilde{x}_i, i \in [1, \dots, 2i-1]$	2^{-n}
$n-1$	$y_i, i \in [2i, \dots, 3i-2]$	1

На основе выражений (19) и (20) можно оценить вычислительную сложность метода декодирования ПСК на основе модифицированного метода ветвей и границ. Результаты сравнения вычислительной эффективности разработанного метода декодирования с аналогичным параметром простого переборного декодирования ПСК представлены на рис. 3.

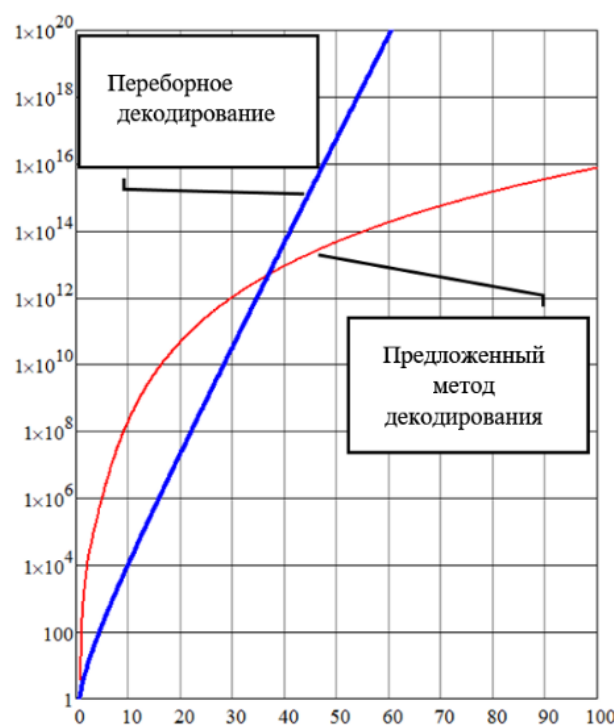


Рис. 3. Сравнение вычислительной сложности

Как следует из зависимостей, представленных на рис. 3, с ростом длины блока n вычислительная сложность переборного алгоритма декодирования растет экспоненциально, а при использовании предложенного метода декодирования вычислительная сложность возрастает по полиномиальному закону. При длинах блоков ПСК $n \geq 37$ достигается выигрыш предлагаемого метода декодирования по величине вычислительной сложности по сравнению с переборным алгоритмом. Например, при длине блока ПСК $n=50$ достигается выигрыш почти в 1000 раз, а при $n=60$ - примерно в 10^6 раз. Это является подтверждением достижения поставленной в данной работе цели.

Выводы

Основной результат данной статьи заключается в получении конструктивного метода построения и декодирования псевдослучайных кодов ЛКГ на основе предложенного модифицированного математического метода ветвей и границ. Доказана возможность представления задачи декодирования в виде задачи целочисленного линейного программирования за счет несущественного снижения объективности правила определения ближайшего кодового слова. Данный результат в определенной степени опровергает устоявшиеся стереотипы относительно возможности декодирования случайных и псевдослучайных кодов исключительно переборными методами на основе правила максимального правдоподобия. Предложенное правило наименьших проекций разностных векторов, при относительно небольшом снижении объективности, легко компенсируется незначительным увеличением длин блоков ПСК, является основой для линеаризации целевой функции декодера.

Наиболее приемлемым методом для решения целочисленной задачи декодирования ПСК является математический метод направленного поиска оптимального решения – метод ветвей и границ. Инструментом линеаризации целевой функции и, как следствие, всей задачи декодирования, является замена нелинейной операции вычисления по модулю ее алгебраическим эквивалентом.

Использование этой замены в уравнениях рекуррентной взаимосвязи символов кодовых слов позволяет формализовать задачу декодирования в виде канонической задачи целочисленного линейного программирования.

Модификация классического метода ветвей и границ, проведенная введением приоритета перебора целочисленных переменных задачи в узлах ветв-

ления дерева решений, позволяет в несколько раз уменьшить количество шагов, необходимых для получения оптимального целочисленного решения задачи декодирования.

Проведенное в данной работе комплексное рассмотрение основных проблемных вопросов, связанных с построением и обработкой псевдослучайных кодов, а также полученное строгое математическое решение задачи декодирования позволяет сделать обоснованное предположение о возможности практической реализации технологий ПСК в перспективных системах передачи информации.

Список литературы

1. Shannon C.E. *A Mathematical Theory of Communication* / C.E. Shannon // *Bell Syst. Tech. J., July-Oct. 1948.* – Vol. 27. – P. 379 – 423, 623 – 656.
2. Shannon C.E. *Communication in the presence of noise* / C.E. Shannon // *Proc. IRE., Jan. 1949.* – Vol. 37. – P. 10 – 21.
3. Лавровская Т.В. *Математические модели случайных и псевдослучайных кодов* // Т.В. Лавровская, С.Г. Рассомахин // *Системи обробки інформації. – Х.: ХУПС, 2016.* – Вип. 9 (146). – С. 55-61.
4. Лавровская Т.В. *Физическая модель псевдослучайных кодов в многомерном Евклидовом пространстве* / Т.В. Лавровская, С.Г. Рассомахин // *Системи озброєння і військова техніка. – 2016.* – Вип. 3 (47). – С. 79-84.
5. Назарьянц Е.Г. *Полиномиальная сложность параллельной формы метода ветвей и границ решения задачи коммивояжера* // Я.Е. Ромм, Е.Г. Назарьянц // *Известия Южного федерального университета. Технические науки. – 2015.* – Вип. 4 (165). – С. 44
6. Акулич И.Л. *Математическое программирование в примерах и задачах: учеб. пособие для студентов эконом. спец. вузов* / И.Л. Акулич – М.: Высш. шк., 1986. – 319 с.

Надійшла до редколегії 30.06.2016

Рецензент: д-р техн. наук, проф. В.А. Краснобаев, Харківський національний університет імені В.Н. Каразіна, Харків.

МАТЕМАТИЧНИЙ МЕТОД ДЕКОДУВАННЯ ПСЕВДОВИПАДКОВИХ КОДІВ НА ОСНОВІ МОДИФІКОВАНОГО МЕТОДУ ГІЛОК І МЕЖ

Т.В. Лавровська, С.Г. Рассомахін

Розглядається конструктивний математичний метод декодування псевдовипадкових кодів на основі використання методу гілок і меж, запропонована модифікація класичного алгоритму гілок і меж, проведена оцінка обчислювальної складності методів декодування псевдовипадкових кодів на основі класичного і модифікованого алгоритму гілок і меж, а також оцінка обчислювальної складності запропонованого методу в порівнянні з переборним алгоритмом, розроблена програмна реалізація методу декодування псевдовипадкових кодів.

Ключові слова: псевдовипадкові перешикодостійкі коди, метод гілок і меж, обчислювальна складність, модифікований метод гілок і меж, лінійний конгруентний генератор.

THE MATHEMATICAL METHOD OF PSEUDORANDOM CODES DECODING ON THE BASIS OF THE MODIFIED METHOD OF BRANCHES AND BOUNDARIES

T.V. Lavrovska, S.G. Rassomakhin

Constructive mathematical method of decoding the pseudorandom code based on the use of branch and bound method are considered, modification of the classical algorithm of branch and bound is proposed, assessment of computing complexity of methods of decoding of pseudorandom codes on basis of the classical and modified algorithm of branches and boundaries is made, and also assessment of computing complexity of the offered method in comparison with brute force method, program implementation of method of decoding of pseudorandom codes is developed.

Keywords: pseudo-random noise-proof codes, branch and bound method, computational complexity, a modified branch and bound, linear congruent generator.

УДК 51-76:532.542.3

А.С. Нечипоренко

Харьковский национальный университет радиоэлектроники, Харьков

МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ДВИЖЕНИЯ ВОЗДУШНОГО ПОТОКА ЧЕРЕЗ НОСОВУЮ ПОЛОСТЬ ЧЕЛОВЕКА

Рассмотрены вопросы диагностики функции носового дыхания. Проанализированы особенности процесса принятия решения о хирургическом вмешательстве. Проведен анализ математических моделей турбулентности на основе уравнений Навье-Стокса. Для моделирования транзитного режима течения воздушного потока через носовую полость предложено использовать алгебраическую модель Прандтля-Лойцянского-Клаузера-3.

Ключевые слова: носовое дыхание, модели турбулентности, число Рейнольдса, транзитный режим.

Введение

Проникновение информационных технологий в биологию и медицину, как современный тренд, требует разработки и исследования новых формальных (математических) моделей функционирования человеческого организма. Одной из важных медицинских проблем, требующих применения современных методов информационных технологий для компьютерной диагностики, является проблема носового дыхания.

Нарушение носового дыхания – наиболее мучительный симптом, который наблюдается у пациентов, страдающих острыми или хроническими воспалительными заболеваниями носа и околоносовых пазух. Среди них – вазомоторный, аллергический и полипозный риниты, различные опухолевые процессы в полости носа, посттравматические искривления носовой перегородки. По данным литературных источников [1] около 40% пациентов, которым было проведено хирургическое вмешательство, не довольны результатами операции. Для диагностики функции носового дыхания используется комплекс методов объективной и субъективной диагностики. Это методы томографии (КТ и МРТ), исследования носового воздушного потока (риноанометрия, ринорезистометрия и др.), акустическая ринометрия [2]. В настоящее время наиболее широко используемым является метод передней активной риноанометрии [3]. В сложных случаях медицинской практики, например, когда невозможно с помощью методов объективной диагностики определить показания для оперативного вмешательства, проводится CFC (Computer Fluid Dynamic) моделирование движения воздушного потока в носовой полости. Однако, существующие стандарты оценки функции носового дыхания не учитывают как индивидуальные анатомо-физиологические особенности пациента, так и аэродинамические характеристики воздушного потока, протекающего через носовую полость. Следователь-

но, возникает необходимость в проведении исследований по математическому моделированию процесса движения носового воздушного потока, который учитывает режимы течения. Таким образом, целью данной работы является создание математической модели движения воздушного потока через носовую полость, учитывающей индивидуальную вариабельность анатомических параметров и аэродинамические характеристики режимов течения. Результаты моделирования являются частью исходной выборки данных, которая используется для разработки информационной технологии диагностики и принятия решения о хирургическом вмешательстве.

Моделирование движения воздушного потока

Носовое дыхание – сложный физиологический процесс, который является квазипериодическим и нестационарным. Это обусловлено сложной геометрией носовой полости и наличием флуктуаций воздушного потока. Таким образом, моделирование движения воздушного потока через носовую полость связано со сложностью математического описания турбулентного режима течения. Математическая модель должна быть трехмерной и учитывающей пульсации мгновенных значений скорости потока в произвольном направлении [4]. Данный факт ограничивает возможности прямого численного моделирования, требующего больших вычислительных мощностей. В настоящее время «золотым стандартом» исследования является CFD-моделирование. Данный метод основан на расчете характеристик воздушного потока с помощью методов вычислительной гидродинамики. Для проведения CFD-моделирования необходимо создать 3D-модель носовой полости, детали построения которой описаны в работе [5]. Затем осуществляется численное решение и проводится анализ полученных зависимостей. Для решения системы основных уравнений в большинстве случаев выбираются метод конечных эле-

ментов либо метод конечных объемов. Основными параметрами, влияющими на характеристики потока являются геометрические параметры носовой полости и значения расхода воздушного потока.

В большинстве работ моделируемый поток считается стационарным и ламинарным. Однако такой подход является спорным, поскольку носовая полость представляет собой канал нерегулярной формы, в котором даже при малых скоростях наблюдается турбулентный режим [6]. В работах [7-9] указано, что ламинарный и турбулентный режимы соответствуют определённым значениям чисел Рейнольдса. Например в работе [7] это 545 при расходе 7,5 л/мин и 2905 при 40 л/мин, в [8] турбулентный режим начинается с величины расхода 15 л/мин, а в работе [9] турбулентный режим соответствует значениям чисел Рейнольдса $> 2 \cdot 10^3$. Однако, следует отметить, что число Рейнольдса зависит не только от скорости потока, а и от диаметра канала, в данном случае гидравлического диаметра ноздри. Также, из теории аэродинамики [10] известно, что если вход в трубу сделать плавным, то ламинарное движение в трубе может поддерживаться при существенно больших числах Рейнольдса, например, до 50000. Таким образом, необходимо учитывать эти особенности при расчете чисел Рейнольдса.

При проверке гипотезы на нестационарность, проводится расчет числа Струхала. В работах сделан вывод, что процесс дыхания является квазистационарным [11] и нестационарным [12].

По результатам анализа литературы [7-13], в большинстве работ приняты следующие допущения при проведении численного моделирования: для величин расходов от 7,5 л/мин до 15 л/мин используются модели ламинарного режима, для величин расхода 20 л/мин – 40 л/мин – модели турбулентного режима. В работе [14] принимается за основу существование двух режимов течения одновременно. Однако на данный момент не существует работ по моделированию транзитного режима, который имеет место при переходе от ламинарного режима к турбулентному при движении воздушного потока через носовую полость.

Модели турбулентности

Остановимся на рассмотрении моделей турбулентности подробней.

Воздушный поток через носовую полость является вязкой несжимаемой средой. В случае вязкой несжимаемой среды неизвестными являются составляющие скорости V_x, V_y, V_z и давления p , а полная система уравнений состоит из уравнений Навье-Стокса и уравнений неразрывности [15]:

$$\begin{aligned} \frac{\partial \vec{V}}{\partial t} &= \vec{F} - \frac{1}{\rho} \text{grad } p + \nu \Delta \vec{V}; \\ \text{div } \vec{V} &= 0. \end{aligned} \quad (1)$$

где \vec{V} – вектор скорости, \vec{F} – вектор единичной массовой силы, ρ – плотность, p – давление, ν – кинематический коэффициент вязкости.

Традиционный подход к расчету таких течений основывается на осредненных по тому или иному правилу уравнениях Навье-Стокса. Полученные таким образом уравнения Рейнольдса вследствие нелинейности уравнений Навье-Стокса оказываются незамкнутыми. Замыкание уравнений Рейнольдса проводится с помощью полуэмпирических гипотез турбулентности. Также можно проводить замыкание с помощью вывода уравнений относительно рейнольдсовых напряжений.

В задачах моделирования движения воздушного потока через носовую полость используют следующие основные модели турбулентности: $k-\varepsilon$, $k-\omega$ и SST модель Ментера [4, 6 - 14].

Модель $k-\varepsilon$ относится к семейству двухпараметрических диссипативных моделей турбулентности. Данная модель хорошо зарекомендовала себя при расчётах сдвиговых турбулентных течений. Суммируя уравнения для энергии турбулентных пульсаций, скорости диссипации турбулентной энергии, выражения для кинематической турбулентной вязкости и записывая комплект стандартных констант [10], представим стандартную $k-\varepsilon$ модель (2):

$$\begin{aligned} \frac{\partial k}{\partial t} + \bar{U}_j \frac{\partial k}{\partial x_j} &= \frac{\partial}{\partial x_j} \left[\left(\nu + \frac{\nu_t}{\sigma_k} \right) \frac{\partial k}{\partial x_j} \right] + \tau_{ij} \frac{\partial \bar{U}_i}{\partial x_j} - \varepsilon; \\ \frac{\partial \varepsilon}{\partial t} + \bar{U}_j \frac{\partial \varepsilon}{\partial x_j} &= \frac{\partial}{\partial x_j} \left(\nu + \frac{\nu_t}{\sigma_\varepsilon} \right) \frac{\partial \varepsilon}{\partial x_j} + \\ &+ C_{\varepsilon 1} \frac{\varepsilon}{k} \tau_{ij} \frac{\partial \bar{U}_i}{\partial x_j} - C_{\varepsilon 2} \frac{\varepsilon^2}{k}; \end{aligned} \quad (2)$$

$$\begin{aligned} \nu_t &= C_\mu k^2 / \varepsilon; \quad C_\mu = 0,09; \quad C_{\varepsilon 1} = 1,44; \\ C_{\varepsilon 2} &= 1,92; \quad \sigma_k = 1; \quad \sigma_\varepsilon = 1,3; \end{aligned}$$

где k – энергия турбулентных пульсаций (плотность), ν_t – кинематическая вихревая вязкость, \bar{U}_i – среднemasсовая скорость, ε – скорость диссипации турбулентной энергии, $C_{\varepsilon 1}$, $C_{\varepsilon 2}$, C_μ , σ_k , σ_ε – эмпирические константы, определённые на основе решения задач о плоской струе и слое смешения.

Таким образом, $k-\varepsilon$ модель предоставляет наиболее широкие возможности для расчета свободного движения газа (на отдалении от стенок).

Рассмотрим $k-\omega$ модель на примере модели Вилкокса [16]. Она формулируется как кинематическая вихревая вязкость $\nu_t = k / \omega$, турбулентная кинетическая энергия:

$$\frac{\partial k}{\partial t} + \bar{U}_j \frac{\partial k}{\partial x_j} = \tau_{ij} \frac{\partial \bar{U}_i}{\partial x_j} - \beta^* k \omega + \frac{\partial}{\partial x_j} \left[(\nu + \nu_t) \frac{\partial k}{\partial x_j} \right].$$

Удельная скорость диссипации:

$$\frac{\partial \omega}{\partial t} + \bar{U}_j \frac{\partial \omega}{\partial x_j} = \alpha \frac{\omega}{k} \tau_{ij} \frac{\partial \bar{U}_i}{\partial x_j} - \beta \omega^2 + \frac{\partial}{\partial x_j} \left[(\nu + \sigma \nu_t) \frac{\partial \omega}{\partial x_j} \right].$$

Коэффициенты замыкания и вспомогательные соотношения:

$$\begin{aligned} \alpha &= 13/25; \quad \beta = \beta_0 f_\beta; \quad \beta^* = \beta_0^* f_{\beta^*}; \\ \sigma &= 1/2; \quad \sigma^* = 1/2; \quad \beta_0 = 9/125; \\ f_\beta &= \frac{1 + 70\chi_\omega}{1 + 80\chi_\omega}, \quad \chi_\omega = \frac{|\Omega_{ij}\Omega_{jk}S_{ki}|}{(\beta_0^*\omega)^3}; \\ \beta_0^* &= 9/100; \quad f_{\beta^*} = \frac{1 + 680\chi_k^2}{1 + 400\chi_k^2}; \\ \chi_k &\leq 0; \quad \chi_k > 0; \quad \chi_k \equiv \frac{1}{\omega^3} \frac{\partial k}{\partial x_j} \frac{\partial \omega}{\partial x_j}; \\ \varepsilon &= \beta^* \omega k, \quad l = k^{1/2} / \omega, \end{aligned}$$

где k – энергия турбулентных пульсаций, ω – диссипация на единицу турбулентной энергии, χ_ω – перекрестный диффузионный член, β^*, β – коэффициенты диффузионных членов, f_β, f_{β^*} – функции, зависящие от χ_k и χ_ω , Ω_{ij} и S_{ij} – тензоры вращения и скоростей деформации.

В отличие от $k-\varepsilon$ модели модель $k-\omega$ позволяет наиболее точно описывать движение воздушного потока в пристеночной области, вблизи граничного слоя.

Ф. Р. Менгер [17] предложил модель, сочетающую в себе указанные сильные стороны $k-\varepsilon$ и $k-\omega$ моделей. Для этого $k-\varepsilon$ модель переформулировалась в терминах k и ω , а затем в полученные в результате модельные уравнения введена эмпирическая функция F_1 , обеспечивающая плавный переход от $k-\omega$ модели в пристеночной области к $k-\varepsilon$ модели вдали от твердых стенок. Модель [17] записывается путем суперпозиции моделей $k-\omega$ и $k-\varepsilon$, помноженных соответственно на весовую функцию F_1 и $(1 - F_1)$.

Функция F_1 подбирается таким образом, чтобы быть равной единице на верхней границе пограничного слоя и стремиться к нулю при приближении к стенке. Сшивка предполагается в области следа пограничного слоя. Вторым важным шагом, сделанным Менгером, состоял в видоизменении стандартной связи между k , ω и турбулентной вязкостью ν_t . В эту связь был введен специальный ограничитель (MSST), обеспечивающий переход от нее к известной формуле Бредшоу [10], согласно которой тур-

булентное напряжение трения пропорционально кинетической энергии турбулентности

$$\overline{U_i'U_j'} = 0,31k.$$

Этот прием, получил название SST (shear stress transport).

Уравнения модели $k-\omega$ умножаются на F_1 , а уравнения модели $k-\varepsilon$ – на $(1 - F_1)$, полученные уравнения складываются. Вводя полную производную

$$\frac{D}{Dt} = \frac{\partial}{\partial t} + \frac{\bar{U}_j \partial}{\partial x_j},$$

запишем систему исходных уравнений модели Менгера:

$$\begin{aligned} \frac{D\rho k}{Dt} &= \tau_{ij} \frac{\partial U_i}{\partial x_j} - \beta^* \rho \omega k + \frac{\partial}{\partial x_j} \left[(\mu + \sigma_k \mu_t) \frac{\partial k}{\partial x_j} \right]; \\ \frac{D\rho \omega}{Dt} &= \frac{\gamma}{\nu_t} \tau_{ij} \frac{\partial U_i}{\partial x_j} - \beta \rho \omega^2 + \frac{\partial}{\partial x_j} \left[(\mu + \sigma_\omega \mu_t) \frac{\partial \omega}{\partial x_j} \right] + \\ &+ 2\rho(1 - F_1)\sigma_{\omega 2} \frac{1}{\omega} \frac{\partial k}{\partial x_j} \frac{\partial \omega}{\partial x_j}; \end{aligned}$$

где

$$\varphi = F_2 \varphi_1 + (1 - F_2) \varphi_2,$$

φ_1, φ_2 – константы моделей $k-\omega$ и $k-\varepsilon$ соответственно.

Используются системы констант [10]. Таким образом, системы калиброваны по пристеночным течениям и свободным сдвиговым слоям соответственно. Модель замыкается выражением для вихревой вязкости.

$$\nu_t = \frac{\mu_t}{\rho} = \frac{k}{\omega}.$$

Составляющие тензора рейнولدсовых напряжений:

$$\tau_{ij} = \mu_t \left(\frac{\partial \bar{U}_i}{\partial x_j} + \frac{\partial \bar{U}_j}{\partial x_i} - \frac{2}{3} \frac{\partial \bar{U}_k}{\partial x_k} \delta_{ij} \right) - \frac{2}{3} \rho k \delta.$$

Вблизи стенки функция F_1 должна быть близка к единице в значительной части пограничного слоя, этого требует $k-\omega$ модель, а по мере отдаления от стенки и приближения к границе пограничного слоя F_1 должна стремиться к нулю, это обеспечивает независимость от внешних условий, характерную для $k-\varepsilon$ модели. Функция F_1 зависит от переменной

$$\arg_1 = \min \left[\max \left(\frac{\sqrt{k}}{0,09\omega y}; \frac{500\nu}{y^2\omega} \right); \frac{4\rho\sigma\omega_2 k}{CD_{k\omega} y^2} \right]$$

следующим образом:

$$F_1 = \tanh(\arg_1^4),$$

где y – расстояние до поверхности; $CD_{k\omega}$ – положительная часть перекрестных диффузионных членов в уравнении переноса ω :

$$CD_{k\omega} = \max \left\{ 2\rho\sigma_{\omega 2} \frac{1}{\omega} \frac{\partial k}{\partial x_j}, 10^{-20} \right\}.$$

Основной недостаток рассмотренных моделей заключается в том, что осреднение осуществляется сразу по всем масштабам турбулентности и, следовательно, моделирование на основе полуэмпирических гипотез необходимо проводить с учетом разномасштабности структур, участвующих в процессах переноса в тех или иных областях течения.

К тому же представление мгновенных значений гидродинамических параметров в виде суммы осредненной величины (во времени) и ее пульсационной составляющей, согласно подходу Рейнольдса, означает, что усреднение гидродинамической величины по времени дает ее математическое ожидание, а пульсационная составляющая которой – дисперсия случайной величины. Однако усредняемая гидродинамическая величина в данном случае не является случайной.

Моделирование переходного режима течения через носовую полость

В настоящий момент математические модели, описывающие переходной режим течения воздушного потока в носовой полости в литературе не представлены. Вместе с тем, согласно исследованиям автора [18] транзитный режим важное значение при реализации таких физиологических функций носа как увлажнение и кондиционирование. Учитывая недостатки моделей, описанных в предыдущем разделе, для описания переходного режима предложим алгебраическую модель Прандтля-Лойцянского-Клаузера-3 [10]. В рамках алгебраических моделей турбулентности возможен учет многомасштабности турбулентности с помощью создания многослойных схем течений, в частности пограничных слоев. К тому же алгебраические модели хорошо зарекомендовали себя при расчёте транзитных режимов.

Массовые силы, возникающие вследствие сил кривизны линий тока, могут существенно изменить распределение длин пути смещения. Попытаемся также учесть влияние кривизны стенки канала, перехода от ламинарного к турбулентному режиму течения. Полагается, что универсальными масштабами внешней области являются динамическая скорость и толщина вытеснения турбулентного пограничного слоя (ТПС). Модель предложена в рамках традиционной двухслойной клаузеровской схемы ТПС. Она базируется на использовании пути смещения с демпфирующим множителем Лойцянского

D_L [10] во внутренней области и соотношения, названного формулой Клаузера-3, во внешней. Формула Клаузера-3, согласно которой турбулентная вязкость определяется выражением

$$\nu_{to} = kU_\tau \delta^*,$$

не зависит от числа Рейнольдса в диапазоне изменения $320 < Re < 2 \cdot 10^4$. В данном промежутке число Рейнольдса определяется по толщине потери импульса, скорости на внешней границе ТПС и кинематической вязкости. Известно, что при $Re > 10^3$ толщина внутренней области равна толщине вытеснения ТПС. Таким образом, модель формулируется следующим образом:

$$\begin{aligned} \nu_{ti} &= (ky)^2 \frac{\partial \bar{U}}{\partial y} D_L, \\ D_L &= 1 - e^{-\left(\frac{yU_\tau}{26\nu}\right)^2} \end{aligned} \quad (3)$$

во внутренней области и во внешней:

$$\nu_{to} = kU_\tau \delta^* F_{Kleb} \quad (4)$$

y – расстояние по нормали до стенки, D_L – демпфирующий множитель, учитывающий взаимодействие молекулярного и турбулентного процессов переноса, F_{Kleb} – параметр перемежаемости Клебанава, ν_{ti} , ν_{to} – масштабы скорости, соответственно внутренней и внешней областей пограничного слоя.

Параметром, характеризующим начало и конец переходного участка, является степень турбулентности внешнего потока ε . Согласно этой модели в выражениях для турбулентной вязкости (3) и (4) вместо константы $k = 0,41$ применяется функция перехода.

Таким образом, данный подход позволяет описать формирование элементов структуры переходного пограничного слоя от начала перехода (ламинарный режим) до его окончания (турбулентный режим). На переходном участке формируются элементы внутренней области турбулентного пограничного слоя (ТПС): вязкий подслой, буферная область и участок логарифмического профиля скорости. Внешняя область ТПС изначально структурно подобна внешней области ламинарного слоя (слой постоянной вязкости).

Выводы

В статье проведен анализ основных математических моделей турбулентности, используемых для расчета характеристик воздушного потока через носовую полость. Общим недостатком рассмотренных моделей является то, что осреднение осуществляется сразу по всем масштабам турбулентности.

В работе предложена математическая модель переходного режима течения воздушного потока

через носову порожнину, яка дозволяє описати формування елементів структури перехідного пограничного шару від початку переходу (ламинарний режим) до його закінчення (турбулентний режим).

Перспективою подальших досліджень вважається на першому етапі - перевірка адекватності запропонованої моделі на основі експериментальних даних, які містять 3D моделі пацієнтів з нормою, різні анатомічні конфігурації, що відповідають відхиленням носової перегородки, а також іншим патологічним стаям. Наступним етапом стане валідація результатів моделювання та розробка стандартів оцінки функції носового дихання разом з отоларингологами.

Список літератури

1. Thulesius, H.L., *Rhinomanometry in clinical use. A tool in the septoplasty decision making process: doctoral dissertation, clinical sciences* / H.L. Thulesius. – 2012. – 67 p.
2. Clement, P.A. *Standardisation Committee on Objective Assessment of the Nasal Airway. Consensus report on acoustic rhinometry and rhinomanometry* / P.A. Clement, F. Gordts // *Rhinology*. – 2005. – № 43. – P. 169–179.
3. Hilberg, O. *The objective assessment of nasal patency* / O. Hilberg, P.A. Clement, A.S. Jones, D.E. Phillips, F.J.M. Hilgers // *Diseases of the head and neck, nose and throat*. – 1998. – P. 719–742.
4. Воронин А.А. *Моделювання повітряного потоку людини в носовій порожнині при диханні [Електронний ресурс]* / А.А. Воронин, Г.Н. Лукьянов, Р.В. Неронов // *Modern problems and ways or their solution in science, transport, production, education*, 18-27 December, 2012. – Режим доступу до матеріалу статті: http://www.sworld.com.ua/index.php/ru/conference/the_content-of-conferences/archives-of-individual_conferences/december-2012.
5. Гарюк Г.И. *Модель порожнини носа та околоносових пазух за даними комп'ютерно-томографічного дослідження* / Г.И. Гарюк, О.Г. Гарюк, А.С. Нечипоренко, А.Ю. Меркулов // *Ринологія*. – 2012. – № 3, С. 3 – 7.
6. Simmen D. *A dynamic and direct visualization model for the study of nasal airflow* / D. Simmen, J. Scherrer, K. Moe, B. Heinz // *Arch Otolaryngol Head Neck Surg*. 1999 Sep; 125(9):1015-21.
7. Wen J. *Airflow patterns in both sides of a realistic human nasal cavity for laminar and turbulent conditions* /

J. Wen, K. Inthavong, Z. F. Tian, J.Y. Tu, C.L. Xue, C.G. Li // *16th Australasian fluid Mechanics Conference Crown Plaza, Gold Coast, Australia 2-7 december, 2007*, p. 68 – 75.

8. Zubair M. *Airflow inside the nasal cavity: visualization using computational fluid dynamics* / M. Zubair, V. N. Riazuddin, M. Z. Abdullah, R. Ismail, I. L. Shuaib, A. H. Suzinaand K. A. Ahmad // *Asian Biomed.*, 4:p. 657-661, 2010.

9. Wang K. Jr.T.S.D. *Numerical simulation of air flow in the human nasal cavity* / K. Jr.T.S.D. Wang, E.E. Morrison, V.J. Vodyanov // *Proceeding of the 2005 IEEE*, 2005, p. 5607-5610.

10. Белов И.А. *Моделювання турбулентних течій* / И.А. Белов, С.А. Исаев. – Санкт-Петербург: Балт. гос. техн. ун-т., - 2001 – 108 с.

11. Doorly D.J. *Mechanics of airflow in the human nasal airways* / D.J. Doorly, D.J. Taylor, R.C. Schroter // *Respiratory Physiology&Neurobiology*, № 163, 2008, p. 100-110.

12. Zhao K. *Numerical Modeling of Turbulent and Laminar Airflow and Odorant Transport during Sniffing in the Human and Rat Nose* / K. Zhao, P. Dalton, G C. Yang, P. W. Scherer // *Chem. Senses* 31: p. 107–118, 2006.

13. Riazuddin V.N. *Numerical study of inspiratory and expiratory flow in a human nasal cavity* / V.N. Riazuddin, M. Zubair, M.Z. Abdullah, R. Ismail, I.L. Shuaib, S.A. Hamid, K.A. Ahmad // *Journal of Medical and biological engineering*, № 31(3), p. 201-206, 2010.

14. Wienhold I. *Numerical simulation of airflow in human nose* / I. Wienhold, G. Mlynski // *Eur. Arch. Otorhinolaryngol.*, № 261, p. 452-455, 2004.

15. Чмовж В.В. *Аэрогидродинамика. Часть 1* / В.В. Чмовж. – Харьков : НАУ «ХАИ», 2006. – 193 с.

16. Wilcox D.C. *Turbulence Modelling for CFD* / D.C. Wilcox // DCW Industries, Inc. La Canada, California, 1998.

17. Menter F.R. *Zonal Two Equation $k - \omega$ Turbulence Models for Aerodynamic Flows* // *AIAA Paper*. 1993. V. 93-2906. – 21 p.

18. Нечипоренко А.С. *Критерий идентификации фаз носового дыхательного цикла* / А.С. Нечипоренко, О.Г. Гарюк, В.В. Чмовж // *Вестник Национального технического университета «Харьковский политехнический институт»*. Сборник научных трудов. Тематический выпуск: Информатика и моделирование – Харьков: НТУ «ХПИ», 2013. – № 19(992). – С. 106 – 112.

Надійшла до редколегії 21.07.2016

Рецензент: д-р техн. наук, проф. В.О. Філатов, Харківський національний університет радіоелектроніки, Харків.

МАТЕМАТИЧНА МОДЕЛЬ РУХУ ПОВІТРЯНОГО ПОТОКУ КРІЗЬ НОСОВУ ПОРОЖНИНУ ЛЮДИНИ

А.С. Нечипоренко

Розглянуто питання діагностики функції носового дихання та процесу прийняття рішення про хірургічне втручання. Проведено аналіз математичних моделей, що застосовуються для моделювання турбулентного режиму руху крізь носову порожнину. Обґрунтовано вибір моделі транзитного режиму руху на основі алгебраїчної моделі Прандтля-Лойцяньського-Клаузера-3.

Ключові слова: носове дихання, моделі турбулентності, число Рейнольдса, транзитний режим.

MATHEMATICAL MODEL OF AN AIRFLOW THROUGH A HUMAN NASAL CAVITY

A.S. Nechiporenko

The problems of diagnosis of nasal breathing function using CFD analysis was described. Task of implementation of CFD results in decision making process in surgery was also analyzed. Models of turbulence were analyzed. Model of transitional regime of flow based on algebraic model was proposed.

Keywords: nasal breathing, models of turbulence, Reynolds number, transitional regime.

UDC 519.85

O.M. Khlud, A.V. Pankratov, T.Ye. Romanova

A.N. Podgorny Institute for Mechanical Engineering Problems, NAS of Ukraine, Kharkiv

PACKING OF APPROXIMATED ELLIPSOIDS

The paper considers the problem of packing a given collection of ellipsoids into a container of minimal volume. Our ellipsoids can be continuously rotated and translated. A class of radical free quasi-phi-functions for approximated ellipsoids by polytopes is used for an analytical description of non-overlapping and containment constraints. We formulate the packing problem in the form of a nonlinear programming problem and propose a solution strategy, which allow us to search for local optimal extrema for the packing problem of approximated ellipsoids. These packings may be considered as promising starting points for a packing problem of true ellipsoids. We provide some computational results.

Keywords: packing, approximated ellipsoids, continuous rotations, non-overlapping, containment, quasi-phi-functions, nonlinear optimization.

I. INTRODUCTION

In this paper we deal with the optimal ellipsoid packing problem. The problem is NP-hard [1] and has multiple applications in modern biology, mineralogy, medicine, materials science, nanotechnology, as well as in the chemical industry, power engineering etc.

At present, the interest in finding effective solutions for placement problems of ellipsoids is growing rapidly (see, e.g., [2-5]). This is due to a large number of applications and an extreme complexity of methods used to handle many of them.

Paper [6] propose an exact NLP model and a solution strategy for packing spheroids into cuboid of minimal volume using quasi-phi-functions. However the approach allows us to compute feasible solution up to 12 spheroids.

The present paper proposes an approach, which is capable of handling arbitrary ellipsoids approximated by polytopes and thus finding a feasible solution. In addition, an arbitrary convex container, as well as, minimal allowable distances between ellipsoids may be considered.

Our approach reducing the packing problem to a nonlinear programming problem. To this end a class of quasi-phi-functions [7] is used for approximated ellipsoids taking into account their continuous rotations and translations.

To construct a mathematical model of the problem we apply quasi-phi-functions for convex polytopes, derived in [8].

The paper is organized as follows:

In Section 2 we formulate the ellipsoid packing problem.

$$M(\theta) = \begin{pmatrix} \cos \theta^1 \cos \theta^3 - \sin \theta^1 \cos \theta^2 \sin \theta^3 & -\cos \theta^1 \sin \theta^3 - \sin \theta^1 \cos \theta^2 \cos \theta^3 & \sin \theta^1 \sin \theta^2 \\ \sin \theta^1 \cos \theta^3 + \cos \theta^1 \cos \theta^2 \sin \theta^3 & -\sin \theta^1 \sin \theta^3 + \cos \theta^1 \cos \theta^2 \cos \theta^3 & -\cos \theta^1 \sin \theta^2 \\ \sin \theta^2 \sin \theta^3 & \sin \theta^2 \cos \theta^3 & \cos \theta^2 \end{pmatrix}.$$

In Section 3 we present quasi-phi-functions for non-overlapping and containment constraints. In Section 4 we propose a mathematical model as a continuous nonlinear programming problem by means of quasi-phi-functions for approximated ellipsoids and describe a solution strategy. In Section 5 we provide our computational results. Finally we give some conclusions in Section 6.

II. PROBLEM FORMULATION

We consider here a packing problem in the following setting. Let Ω be a cuboid of variable length l , width w and height h . Suppose a set of ellipsoids, E_i , $i \in \{1, 2, \dots, n\} = I_n$, is given to be placed in Ω without overlaps. Each ellipsoid E_i is given by semi-axes a_i and b_i and c_i . With each ellipsoid E_i its local coordinate system whose origin coincides with the center of the ellipsoid and the coordinate axes are aligned with the ellipsoid's axes.

We also use a fixed coordinate system attached to the container Ω . The location and orientation of each ellipsoid E_i is defined by a variable vector of its placement parameters (v_i, θ_i) . Here $v_i = (x_i, y_i, z_i)$ is a translation vector, $\theta_i^1, \theta_i^2, \theta_i^3$ are Euler angles in the global coordinate system. The rotated by angles $\theta_i^1, \theta_i^2, \theta_i^3$ and translated by vector v_i ellipsoid E_i is defined as

$$E_i(u) = \{p \in \mathbb{R}^3 : p = v_i + M(\theta_i) \cdot p^0, \forall p^0 \in E_i^0\},$$

where E_i^0 denotes the non-translated and non-rotated ellipsoid E_i , $M(\theta)$ is a rotation matrix, where

Packing problem of ellipsoids. Pack the set of ellipsoids E_i , $i \in I_n$, into a container Ω of the minimal volume $F = l \cdot w \cdot h$.

III. Quasi-phi-functions for non-overlapping and containment constraints

We approximate each ellipsoid E_i by a convex polytope defined by its vertices p_j^i , $j = 1, \dots, m$, whose values are fixed in the local coordinate system of the ellipsoid E_i . We denote the approximated ellipsoid by $\hat{E}_i(u_i)$. Now we reformulate our problem *packing problem of ellipsoids* in the following way.

Pack the collection of objects $\hat{E}_i(u_i)$, $i \in I_n$, into a rectangular domain Ω of minimal volume $F = l \cdot w \cdot h$.

Quasi-phi-functions for nonoverlapping constraints. Let $\hat{E}_i(u_i)$ and $\hat{E}_j(u_j)$ be approximated ellipsoids, given by their vertices p_k^i , $k = 1, \dots, m$, and p_k^j , $k = 1, \dots, m$.

Let $P(u_{ij}') = \{(x, y, z) : \psi_P = \alpha_{ij} \cdot x + \beta_{ij} \cdot y + \gamma_{ij} \cdot z + \mu_{ij} \leq 0\}$ be a half-space, where

$$\begin{pmatrix} \alpha_{ij} \\ \beta_{ij} \\ \gamma_{ij} \end{pmatrix} = M(\theta_p^1, \theta_p^2, 0) \cdot \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ 1 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \cos \theta_p^1 & -\sin \theta_p^1 \cos \theta_p^2 & \sin \theta_p^1 \sin \theta_p^2 \\ \sin \theta_p^1 & \cos \theta_p^1 \cos \theta_p^2 & -\cos \theta_p^1 \sin \theta_p^2 \\ 0 & \sin \theta_p^2 & \cos \theta_p^2 \end{pmatrix} \cdot \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ 1 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \sin \theta_p^1 \sin \theta_p^2 \\ -\cos \theta_p^1 \sin \theta_p^2 \\ \cos \theta_p^2 \end{pmatrix}.$$

Here $u_{ij}' = (\theta_p^1, \theta_p^2, \mu_p)$, θ_p^1 and θ_p^2 are appropriate (precession, nutation rotations) variable Euler angles.

Then, a quasi-phi-function for $\hat{E}_i(u_i)$ and $\hat{E}_j(u_j)$ may be defined as follows

$$\begin{aligned} \Phi^{\hat{E}_i \hat{E}_j}(u_i, u_j, u_{ij}') &= \\ &= \min \left\{ \Phi^{\hat{E}_i P}(u_i, u_{ij}'), \Phi^{\hat{E}_j P^*}(u_j, u_{ij}') \right\}, \end{aligned} \quad (1)$$

where $\Phi^{\hat{E}_i P}(u_i, u_{ij}')$ is the normalised phi-function for $\hat{E}_i(u_i)$ and a half-space $P(u_{ij}')$ [21] and $\Phi^{\hat{E}_j P^*}(u_j, u_{ij}')$ is the normalised phi-function for $\hat{E}_j(u_j)$ and

$$P^*(u_{ij}') = \mathbb{R}^3 \setminus \text{int } P(u_{ij}'),$$

$$\text{where } \Phi^{\hat{E}_i P}(u_i, u_{ij}') = \min_{1 \leq k \leq m} \psi_P(p_k^i)$$

$$\text{and } \Phi^{\hat{E}_j P^*}(u_j, u_{ij}') = \min_{1 \leq k \leq m} (-\psi_P(p_k^j)).$$

Thus a non-overlapping constraint, i.e. $\text{int } \hat{E}_i(u_i) \cap \text{int } \hat{E}_j(u_j) = \emptyset$, can be defined as $\Phi_{ij}'(u_i, u_j, u_{ij}') \geq 0$, where Φ_{ij}' is a quasi-phi-function for objects $\hat{E}_i(u_i)$ and $\hat{E}_j(u_j)$ given by (1). It is obvious that $\text{int } \hat{E}_i(u_i) \cap \text{int } \hat{E}_j(u_j) = \emptyset$ implies $\text{int } E_i(u_i) \cap \text{int } E_j(u_j) = \emptyset$.

Quasi-phi-functions for containment constraints.

Let vertices of cuboid $\Omega = \{(x, y, z) \in \mathbb{R}^3 : 0 \leq x \leq l, 0 \leq y \leq w, 0 \leq z \leq h\}$ be given: $\{v_i, i = 1, \dots, 8\} = \{(0, w, 0), (l, w, 0), (l, 0, 0), (0, 0, 0), (0, w, h), (l, w, h), (l, 0, h), (0, 0, h)\}$.

And let $\hat{E}_i(u_i)$ be a convex polytope, given in its local coordinate system by their vertices p_k^i , $k = 1, \dots, m$, where $p_k^i = (p_{xk}^i, p_{yk}^i, p_{zk}^i)$.

Then a phi-function for objects $\hat{E}_i(u_i)$ and $\Omega^* = \mathbb{R}^3 \setminus \text{int } \Omega$ may be defined in the form

$$\Phi^{\hat{E}_i \Omega^*}(u_i) = \min \left\{ \min_{1 \leq q \leq 6} \varphi_{q_i}(p_k^i), q = 1, \dots, 6 \right\}. \quad (2)$$

$$\varphi_{1i}(p_k^i) = x_i + p_{xk}^i, \quad \varphi_{2i}(p_k^i) = -(x_i + p_{xk}^i) + l,$$

$$\varphi_{3i}(p_k^i) = y_i + p_{yk}^i, \quad \varphi_{4i}(p_k^i) = -(y_i + p_{yk}^i) + w,$$

$$\varphi_{5i}(p_k^i) = z_i + p_{zk}^i, \quad \varphi_{6i}(p_k^i) = -(z_i + p_{zk}^i) + h.$$

Thus, a containment constraint, i.e.

$$\hat{E}_i(u_i) \subset \Omega \Leftrightarrow \text{int } \hat{E}_i(u_i) \cap \Omega^* = \emptyset,$$

can be defined as $\Phi_i(u_i) \geq 0$, where $\Phi_i(u_i)$ is a phi-function for $\hat{E}_i(u_i)$ and Ω^* given by (2).

IV. MATHEMATICAL MODEL AND SOLUTION STRATEGY

The vector $u \in \mathbb{R}^\sigma$ of all our variables can be described as follows: $u = (l, w, h, u_1, u_2, \dots, u_n, \tau)$, where (l, w, h) denote the variable dimensions of the container Ω and $u_i = (v_i, \theta_i)$ is the vector of placement parameters for the ellipsoids E_i , $i \in I_n$, where $v_i = (x_i, y_i, z_i)$, $\theta_i = (\theta_i^1, \theta_i^2, \theta_i^3)$. The vector $\tau = (u_{ij}', i < j = 1, \dots, n)$ denotes the vector of extra variables (for our quasi-phi-functions), where u_{ij}' is defined in (1).

A mathematical model of the optimal packing problem of approximated ellipsoids may now be stated in the following form:

$$\min_{u \in W \subset \mathbb{R}^\sigma} F(u), \quad (3)$$

$$W = \left\{ u \in \mathbb{R}^\sigma : \Phi_{ij}^* \geq 0, \Phi_i \geq 0, \quad i, j = \overline{1, n}, j > i \right\}, \quad (4)$$

where $F(u) = l \cdot w \cdot h$, $\Phi^{\hat{E}_i \hat{E}_j}$ is a quasi-phi-function (1) defined for the pair of objects \hat{E}_i and \hat{E}_j to hold *nonoverlapping* constraint (i.e. $\text{int } \hat{E}_i \cap \text{int } \hat{E}_j \Rightarrow \Rightarrow \text{int } E_i \cap \text{int } E_j$), Φ_i is phi-function (2) defined for objects \hat{E}_i and Ω^* to hold the *containment* constraint (i.e. $(\hat{E}_i \subset \Omega \Leftrightarrow \text{int } \hat{E}_i \cap \text{int } \Omega^*) \Rightarrow (\text{int } E_i \cap \text{int } \Omega^* \Leftrightarrow E_i \subset \Omega)$).

Our constrained optimization problem (3)-(4) is a continuous nonlinear programming problem. We employ the following solution strategy for problem (3) – (4), which involves three major stages, described in [8]:

1. First we generate a number of feasible starting points, using the optimization procedure, which is based on the homothetic object transformations.

2. Then starting from each point obtained at Step 1 we search for a local minimum of the objective function $F(u)$ of problem (3)-(4).

3. Lastly, we choose the best local minimum from those found at Step 2. This is our best solution of the problem (3) – (4).

The search for local minima of nonlinear programming problems in our optimization procedures is performed by IPOPT proposed in [9].

Local optimal extreme of problem (3) – (4) may be considered as promising starting points for the optimal packing problem of true ellipsoids.

V. COMPUTATIONAL RESULTS

Here we present a number of Instances to demonstrate the efficiency of our quasi-phi-functions. We have run our experiments on an AMD Athlon 64 X2 5200+ computer. The actual search for a local minimum is performed by IPOPT, which is available at an open access noncommercial software depository (<https://projects.coin-or.org/Ipopt>).

We consider a collection of ellipsoids from [6]: $\{E_i, i = 1, \dots, 12\} = \{(a_i, b_i, c_i), i = 1, 2, \dots, 12\} = \{(5, 4, 4), (7, 5, 5), (6, 5, 5), (4, 3, 3), (5.5, 4.5, 4.5), (7.5, 5.5, 5.5), (6.5, 5.5, 5.5), (4.5, 3.5, 3.5), (5.3, 4.3, 4.3), (7.3, 5.3, 5.3), (6.3, 5.3, 5.3), (4.3, 3.3, 3.3)\}$.

Instance E2. Local optimal placement of objects $\{\hat{E}_i, i = 1, 2\}$ is shown in Fig. 1, a. Container has volume $F^* = 2383.620379$ and sizes:

$$(l^*, w^*, h^*) = (19.463200, 11.100469, 11.032692),$$

$$v_i^* = (x_i^*, y_i^*, z_i^*, \theta_i^{1*}, \theta_i^{2*}, \theta_i^{3*}) = (3.863703, 6.034755, 4.223965, 1.570796, 2.879792, -3.141593, 13.299281, 5.550235, 5.516346, -2.727019, -1.890560, 5.662936).$$

$$F^* = 2192.513985 \text{ for true ellipsoids.}$$

Instance E3. Local optimal placement of objects $\{\hat{E}_i, i = 1, 2, 3\}$ is shown in Fig. 1, b. Container has volume $F^* = 3702.936798$ and sizes:

$$(l^*, w^*, h^*) = (18.973749, 10.639733, 18.342664).$$

$$v_i^* = (x_i^*, y_i^*, z_i^*, \theta_i^{1*}, \theta_i^{2*}, \theta_i^{3*}) = (14.346783, 5.326600, 3.863703, -4.500009, -4.500000, -4.500007, 44.829631, 5.319867, 7.016989, 3.403642, -1.614095, 1.582406, 13.665626, 5.319867, 13.035035, -2.702373, -1.973083, -0.694739).$$

$$F^* = 3385.008834 \text{ for true ellipsoids.}$$

Instance E4. Local optimal placement of objects $\{\hat{E}_i, i = 1, \dots, 4\}$ is shown in Fig. 1, c. Container has volume $F^* = 3705.367815$ and sizes:

$$(l^*, w^*, h^*) = (18.782844, 10.000000, 19.727405).$$

$$v_i^* = (x_i^*, y_i^*, z_i^*, \theta_i^{1*}, \theta_i^{2*}, \theta_i^{3*}) = (14.422478, 4.904575, 15.863703, -2.058583, -1.832597, -0.000000, 5.251851, 5.000000, 12.672991, 2.143510, -1.361999, 1.439380, 13.782844, 5.000000, 6.000000, -6.283185, -1.570796, -4.712389, 4.434285, 6.033572, 2.970720, 2.924730, 4.454439, -9.429179).$$

$$F^* = 3539.283378 \text{ for true ellipsoids.}$$

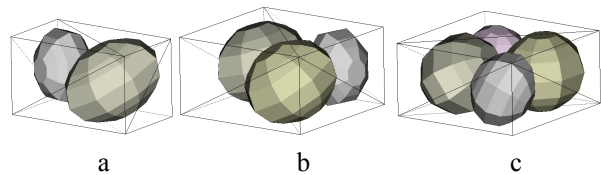


Fig. 1. Local optimal placement of approximated ellipsoids in Instances: a – E2, b – E3, c – E4

Instance E5. Local optimal placement of objects $\{\hat{E}_i, i = 1, \dots, 5\}$ is shown in Fig. 2, a. Container has volume $F^* = 5032.522866$ and sizes:

$$(l^*, w^*, h^*) = (19.446479, 19.318523, 13.395869).$$

$$v_i^* = (x_i^*, y_i^*, z_i^*, \theta_i^{1*}, \theta_i^{2*}, \theta_i^{3*}) = (4.674509, 5.542998, 9.532166, 2.279249, -1.832597, 0.000000, 13.884329, 4.829631, 6.697934, -1.289817, 1.203664, 1.467569, 14.013146, 14.488892, 7.490932, -4.429676, 1.188442, -1.678760, 3.506477, 3.703750, 2.963320, -10.287122, -1.414260, -6.283185, 4.678517, 13.315726, 4.458777, 4.221189, -2.283399, 0.000000).$$

$$F^* = 4347.434370 \text{ for true ellipsoids.}$$

Instance E6. Local optimal placement of objects $\{\hat{E}_i, i = 1, \dots, 6\}$ is shown in Fig. 2, b. Container has volume $F^* = 6805.612826$ and sizes:

$$(l^*, w^*, h^*) = (19.943897, 18.491211, 18.454057),$$

$$v_i^* = (x_i^*, y_i^*, z_i^*, \theta_i^{1*}, \theta_i^{2*}, \theta_i^{3*}) = (15.169411, 13.921900, 3.890034, -3.854741, 1.325810, 3.1421361, 3.613356, 5.003852, 5.794338, -1.570796, 0.654975, 4.7123891, 4.748107, 12.598821, 13.189517, 4.137586, -1.819851, 2.446855, 3.285689, 3.658165, 4.750319, -2.665448, 1.482747, 1.464809, 8.237502, 4.686016,$$

14.013147, -0.478075, -0.884968, 3.141593 5.496256,
13.063430, 7.500000, 2.256626, 1.570796, -4.712389).

$F^* = 6312.236870$ for true ellipsoids.

Instance E7. Local optimal placement of objects $\{\hat{E}_i, i = 1, \dots, 7\}$ is shown in Fig. 2, c. Container has volume $F^* = 8605.363136$ and sizes:

$$(l^*, w^*, h^*) = (22.044030, 20.357230, 19.176066),$$

$v_i^* = (x_i^*, y_i^*, z_i^*, \theta_i^{1*}, \theta_i^{2*}, \theta_i^{3*}) = (5.216144, 16.268284, 14.886386, -0.143916, -2.531766, -0.1919161 6.684065, 15.422879, 12.268708, -2.304072, 1.900226, -1.854364, 16.665459, 5.258722, 13.809339, -1.205656, -1.123103, 0.712058 7.597564, 3.671683, 3.866238, -5.109026, -2.085589, 7.01827216.805163, 8.066816, 4.498794, -0.317327, -1.593951, 3.141593 7.226128, 14.253707, 5.312593, 0.452657, -1.308997, -3.141593 5.690613, 6.098289, 13.364751, -2.395971, 1.777532, 2.439335).$

$F^* = 7687.512942$ for true ellipsoids.

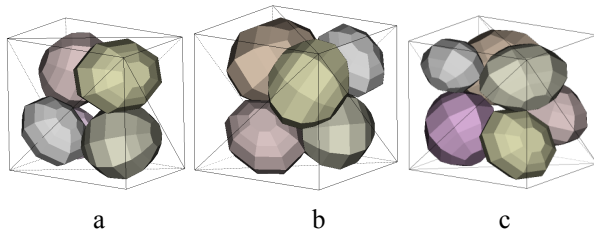


Fig. 2. Local optimal placement of approximated ellipsoids in Instances: a – E5, b – E6, c – E7

Instance E8. Local optimal placement of objects $\{\hat{E}_i, i = 1, \dots, 8\}$ is shown in Fig. 3, a. Container has volume $F^* = 9027.867674$ and sizes:

$$(l^*, w^*, h^*) = (21.861481, 20.941682, 19.719416),$$

$v_i^* = (x_i^*, y_i^*, z_i^*, \theta_i^{1*}, \theta_i^{2*}, \theta_i^{3*}) = (7.080743, 4.283912, 15.732000, 0.490973, 2.183034, -0.0015491 4.879069, 16.096635, 5.369931, -3.739877, -2.838000, -6.903435, 16.967216, 5.893383, 14.338434, 0.801002, -0.449901, 0.8221671 3.874706, 2.898374, 6.883564, 17.547700, -1.355176, -14.1960681 6.634637, 16.183791, 15.035389, 0.566631, 0.618474, -3.619831 6.100744, 6.590548, 6.132972, 0.380940, -0.926308, -2.465021 5.703897, 14.990015, 13.789236, 2.847095, -1.863878, 0.7811341 8.108970, 7.522061, 3.758054, -2.451808, -1.257869 0.661045).$

$F^* = 7998.224794$ for true ellipsoids.

Instance E9. Local optimal placement of objects $\{\hat{E}_i, i = 1, \dots, 9\}$ is shown in Fig. 3, b. Container has volume $F^* = 9339.275190$ and sizes:

$$(l^*, w^*, h^*) = (1922.399841, 19.597158, 21.275273),$$

$v_i^* = (x_i^*, y_i^*, z_i^*, \theta_i^{1*}, \theta_i^{2*}, \theta_i^{3*}) = (12.589207, 5.309804, 4.293675, -0.697499, -0.985668, 2.466853 5.835740, 14.597158, 15.002638, -1.570797, 2.257746, -1.570797, 5.193014, 5.264420, 9.169827, -1491.427003, -1.700896, -1491.2396761 9.502061, 3.195563, 4.011801, -0.262200, -1.516015, -1.55610216.899841, 15.100222, 16.834363, 3.141593, 2.256625, 3.1415931 5.357609, 5.312592, 14.729379, 5.115329, -0.720876, -5.0222921 6.489994, 14.090681, 6.196727, 1.285550, 1.264121, -1.570796$

3.848931, 4.406831, 17.882189, 1.926943, 1.312263, -3.141381 4.969423, 14.306685, 4.298287, -0.891367, -1.336103, 0.025524).

$F^* = 8524.765214$ for true ellipsoids.

Instance E10. Local optimal placement of objects $\{\hat{E}_i, i = 1, \dots, 10\}$ is shown in Fig. 3, c. Container has volume $F^* = 10861.416962$ and sizes:

$$(l^*, w^*, h^*) = (22.568674, 21.433929, 22.453222),$$

$v_i^* = (x_i^*, y_i^*, z_i^*, \theta_i^{1*}, \theta_i^{2*}, \theta_i^{3*}) = (11.166534, 7.964414, 12.886802, 12.910299, 5.345381, -4.915729 6.479567, 5.341026, 5.501422, 0.715064, 1.268488, 2.5213431 7.572076, 4.934348, 6.042565, 2.256628, -1.570797, -1.570796 4.132997, 18.426593, 19.016688, -3.754969, 2.782015, 2.489901, 17.815779, 4.733867, 17.338235, 12.159119, -0.770725, -11.362496 15.248005, 15.403277, 17.025440, -0.488451, -2.256626, -3.141592 5.427782, 15.720405, 9.671556, -0.740692, 4.359926, 4.406641 4.477619, 11.833159, 18.604429, 0.807084, -0.303720, 2.342486 4.735907, 4.153486, 17.243445, 1.267982, 2.090613, 4.5584301 6.095796, 15.476478, 5.798829, -2.282666, 7.556440, 5.655205).$

Average time per one local minimum is 290.23.

$F^* = 10263.381559$ for true ellipsoids.

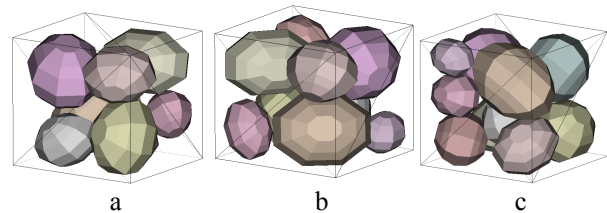


Fig. 3. Local optimal placement of approximated ellipsoids in Instances: a – E8, b – E9, c – E10

Instance E11. Local optimal placement of objects $\{\hat{E}_i, i = 1, \dots, 11\}$ is shown in Fig. 4, a. Container has volume $F^* = 12298.479527$ and sizes:

$$(l^*, w^*, h^*) = (28.542303, 19.112259, 22.545007),$$

$v_i^* = (x_i^*, y_i^*, z_i^*, \theta_i^{1*}, \theta_i^{2*}, \theta_i^{3*}) = (16.897746, 4.345468, 3.895747, -0.220240, -1.836522, -3.1428741 5.226109, 13.557056, 15.834394, -2.728554, -1.986494, 4.830945, 11.501935, 5.028704, 12.635202, 0.597864, -1.905210, 4.2285542 5.325830, 5.438735, 4.729452, 2.320317, 1.991982, 1.752510 4.602381, 4.467685, 5.577816, 0.925368, -1.642191, 4.6587262 2.576575, 5.312592, 15.106522, -1.302330, 1.350097, 1.51064522.019718, 13.296528, 5.768490, -2.950500, -2.309145, -6.786935 3.499825, 3.928914, 18.109280, -2.563 1.639465, -1.080024, 1.2494112 4.245232, 14.868722, 17.067179, -2.256629, 1.570796, 1.570796 8.352820, 13.746644, 5.246129, 3.183329, 4.024098, 3.150487 5.210337, 13.345436, 16.432640, 2.948000, -1.259914, -1.510897).$

$F^* = 11860.716557$ for true ellipsoids.

Instance E12. Local optimal placement of objects $\{\hat{E}_i, i = 1, \dots, 12\}$ is shown in Fig. 4, b. Container has volume $F^* = 12666.31018$ and sizes:

$$(l^*, w^*, h^*) = (28.676637, 20.259273, 21.802086),$$

$v_i^* = (x_i^*, y_i^*, z_i^*, \theta_i^{1*}, \theta_i^{2*}, \theta_i^{3*}) = (24.676842, 4.142693,$

16.850842, -0.544786, -1.895030, -1.761497 5.320593,
 6.686374, 16.547495, -1.023333, 2.536781, -5.8183552
 3.580186, 5.971952, 5.082972, -4.832851, 2.208146,
 -0.0719081 5.174720, 4.153599, 3.006503, -1.552310,
 1.325014, 0.007025 4.652385, 15.731921, 5.433617,
 -4.167647, -1.900265, 4.8896302 1.627998, 14.171563,
 16.302086, 2.704467, -1.570796, 0.000000, 6.458752,
 5.736486, 5.703897, -2.544192, -1.852385, 0.702256
 3.682410, 16.805231, 17.356288, 5.451930, 1.221787,
 4.409997 10.341959, 15.536589, 13.038043, 2.981955,
 -2.144948, -1.6709781 5.772352, 5.243313, 13.725715,
 -1.805717, -1.479577, 1.6232251 6.686975, 14.458702,
 5.479123, 1.348683, -0.686429, 2.4421912 5.435448,
 16.504711, 4.112774, -2.913403, -0.980637, -1.699321).

$F^* = 11768.260385$ for true ellipsoids.

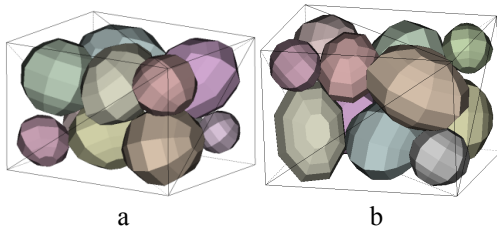


Fig. 4. Local optimal placement of approximated ellipsoids in Instances: a – E11, b – E12

VI. CONCLUSIONS

We developed here a continuous NLP-model of the packing problem of ellipsoids, using quasi-phi-functions, for polytopes. The use of quasi-phi-functions allows us to handle arbitrary ellipsoids which can be continuously rotated and translated. The model can be realized by the current state-of-the art local or global solvers. The approach allows us to deal with the larger number of arbitrary ellipsoids in comparison with results obtained in [6] for spheroids. In addition arbitrary convex containers and minimal allowable distances between ellipsoids may be considered. Local optimal solu-

tions obtained by our approach may be taken as a promising starting points for a placement of true ellipsoids, using the compaction algorithm, proposed in [7] for ellipses.

REFERENCES

1. Chazelle, B., Edelsbrunner, H., Guibas, L.J. *The complexity of cutting complexes*. *Discrete & Computational Geometry*. – 1989. Vol. 4(2). P. 139-81.
2. W. X. Xu, H. S. Chen, Z. Lv. *An overlapping detection algorithm for random sequential packing of elliptical particles*. *Physica*. – 2011. – Vol. 390. – P. 2452-2467.
3. C. Uhler, S. J. Wright. *Packing Ellipsoids with Overlap*. *SIAM Review*. – 2013. Vol. 55(4). P. 671-706.
4. Josef Kalrath and Steffen Rebennack. *Cutting Ellipsoids from Area-Minimizing Rectangles*. *Journal of Global Optimization*, –2014. – Vol. 59, Issue 2-3, P. 405-437
5. E. G. Birgin, R. D. Lobato and J. M. Martínez. *Packing ellipsoids by nonlinear optimization*. *Journal of Global Optimization* (2016) 65, 709–743.
6. A. Pankratov, T. Romanova, and O. Khud. *Quasi-phi-functions in packing of ellipsoids*. *Radioelectronics & Informatics*. – 2015. – № 1. – P. 37-42
7. Stoyan Y, Pankratov A and Romanova T. *Quasi-phi-functions and optimal packing of ellipses*. *Journal of Global Optimization*. – 2016. - Vol. 65(2). - P. 283–307.
8. Chugay A.M., Pankratov A.V., Romanova T. *Optimal packing of convex polytopes using quasi-phi-functions*. *Проблеми машиностроєння*. – 2015. – Т. 18, № 2. – С. 55-64.
9. Wachter, A., Biegler, L. T.: *On the implementation of an interior-point filter line-search algorithm for large-scale nonlinear programming*. *Mathematical Programming*. 2006- Vol. 106(1).- P. 25–57.

Надійшла до редколегії 8.07.2016

Рецензент: д-р техн. наук, проф. С.В. Смельяков, Харківський національний університет Повітряних Сил імені Івана Кожедуба, Харків.

УПАКОВКА АПРОКСИМОВАНИХ ЕЛІПСОЇДІВ

О.М. Хлуд, О.В. Панкратов, Т.Є. Романова

У роботі розглядається задача упаковки заданого набору еліпсоїдів у контейнері мінімального об'єму. Допускаються неперервні трансляції та обертання еліпсоїдів. Для аналітичного описання обмежень неперетину та включення використовуються вільні від радикалів квазі-phi-функції для еліпсоїдів, апроксимованих випуклими багатогранниками. Будується математична модель задачі у вигляді задачі нелінійного програмування (NLP-model) та пропонується стратегія розв'язку, що дозволяє нам отримати локальний екстремум задачі упаковки апроксимованих еліпсоїдів. Результати розв'язання такої задачі можуть бути використані в якості "хорошої" стартової точки для задачі упаковки справжніх еліпсоїдів. Наводяться результати чисельних експериментів.

Ключові слова: упаковка, апроксимовані еліпсоїди, неперервні обертання, неперетин, включення, квазі-phi-функції, нелінійна оптимізація.

УПАКОВКА АПРОКСИМИРОВАННЫХ ЭЛЛИпсоидов

О.М. Хлуд, А.В. Панкратов, Т.Е. Романова

В работе рассматривается задача упаковки заданного набора эллипсоидов в контейнере минимального объема. Допускаются непрерывные трансляции и вращения эллипсоидов. Для аналитического описания ограничений непересечения и включения используются свободные от радикалов квази-phi-функции для эллипсоидов, аппроксимированных выпуклыми многогранниками. Строится математическая модель задачи в виде задачи нелинейного программирования (NLP-model) и предлагается стратегия решения, которая позволяет осуществлять поиск локальных экстремумов для задачи упаковки аппроксимированных эллипсоидов. Такая упаковка может быть использована как "хорошая" стартовая точка для задачи упаковки истинных эллипсоидов. Приводятся результаты численных экспериментов.

Ключевые слова: упаковка, аппроксимированные эллипсоиды, непрерывные вращения, непересечение, включение, квази-phi-функции, нелинейная оптимизация.

УДК 510.635

С.Ю. Шабанов-Кушнарченко¹, Л.В. Шабанова-Кушнарченко²

¹Харьковский национальный университет радиоэлектроники, Харьков

²Национальный технический университет «ХПИ», Харьков

О ПРЕДИКАТНОЙ ФОРМАЛИЗАЦИИ КВАНТОРОВ

В работе рассмотрены представления кванторов многоместных предикатов, кванторов конечных предикатов в виде логических произведений и сумм, тождественные преобразования формул с кванторами в исчислении предикатов.

Ключевые слова: исчисление высказываний, исчисление предикатов, простое высказывание, кванторы.

Введение

В работе [1] была сформулирована проблема формализации высказываний в исчислении предикатов, решены некоторые вопросы в этой области. Рассмотрены кванторные функции от унарных предикатов, как простейшие предикаты второго порядка, представления кванторов многоместных предикатов. В настоящей статье продолжается изучение предикатного описания высказываний с кванторами. Рассмотрены представления кванторов конечных предикатов в виде логических произведений и сумм, тождественные преобразования формул с кванторами в исчислении предикатов.

1. Представление кванторов конечных предикатов в виде логических произведений и сумм

Рассмотрим кванторы общности $\forall x P(x)$ и существования $\exists x P(x)$ в случае, когда предметная область M предиката P конечна, $M = \{a_1, a_2, \dots, a_m\}$. Тогда квантор общности можно представить в виде логического произведения:

$$\forall x P(x) = P(a_1) \wedge P(a_2) \wedge \dots \wedge P(a_m) = \bigcap_{i=1}^m P(a_i), \quad (1)$$

где $P(a_1), P(a_2), \dots, P(a_m)$ - булевы константы. Докажем это утверждение.

Доказательство: Логическое произведение, стоящее в правой части равенства (1), равно единице только в том случае, когда для всех a_i $P(a_i) = 1$; если же хотя бы для одного a_i $P(a_i) = 0$, то все логическое произведение обращается в нуль. Таким образом, данное утверждение справедливо.

Квантор существования конечного предиката P может быть представлен в виде логической суммы:

$$\exists x P(x) = P(a_1) \vee P(a_2) \vee \dots \vee P(a_m) = \bigcup_{i=1}^m P(a_i). \quad (2)$$

Доказательство: В самом деле, если существует хотя бы одно a_i , для которого $P(a_i) = 1$, то вся логическая сумма, стоящая в правой части равенства

(2), обращается в единицу, и только в том случае, когда для всех a_i $P(a_i) = 0$, логическая сумма обращается в нуль. Таким образом, справедливость данного утверждения доказана.

Доказанные утверждения показывают, что кванторы конечных предикатов могут быть выражены средствами алгебры логики. Заметим, что кванторы бесконечных предикатов не могут быть выражены средствами алгебры логики, т. к. пришлось бы записывать бесконечные логические произведения и суммы, а это невозможно сделать. Кванторы бесконечных предикатов часто записываются в виде:

$$\forall x P(x) = P(x_1) \wedge P(x_2) \wedge \dots = \bigcap_x P(x_i), \quad (3)$$

$$\exists x P(x) = P(x_1) \vee P(x_2) \vee \dots = \bigcup_x P(x_i). \quad (4)$$

Переменная x под знаками \wedge и \vee означает, что операция ведется по всем x . Формулы (3) и (4) не следует понимать буквально как бесконечное логическое произведение или бесконечную логическую сумму, взятые по всем $x \in M$. Поскольку мы не знаем, что собой представляет логическое произведение или логическая сумма бесконечного числа членов, то в случае бесконечных множеств приходится признать, что кванторы не сводятся к уже известным нам функциям и принять их в качестве новых функций.

В заключение заметим, что кванторы конечных многоместных предикатов могут быть представлены в виде многократных логических произведений и сумм:

$$\forall x, y \exists z P(x, y, z) = \bigcap_{i=1}^m \bigcap_{j=1}^m \bigcup_{k=1}^m P(a_i, a_j, a_k). \quad (5)$$

Здесь имеется в виду, что $x, y, z \in \{a_1, a_2, \dots, a_m\}$.

2. Тождества логики предикатов

В логике предикатов, как и в алгебре логики, имеется система тождеств, позволяющая осуществлять тождественные преобразования формул. Рассмотрим их.

Правила замены связанной переменной

$$\forall x A(x) = \forall y A(y), \quad (6)$$

$$\exists x A(x) = \exists y A(y). \quad (7)$$

Связанную переменную можно заменять другой буквой. Вид функций от этого не меняется, меняется только обозначение переменной, по которой ведется умножение или суммирование. При замене переменной нужно следить, чтобы вновь вводимая переменная не совпала с некоторой другой переменной, уже фигурирующей в формуле, поскольку при подобном совпадении возникает так называемая коллизия переменных, и тождество нарушается. Таким образом, происходит столкновение переменных. Например:

$$\exists x \forall y A(x, y) \neq \exists y \forall y A(y, y),$$

но

$$\exists x \forall y A(x, y) = \exists z \forall y A(z, y).$$

Коммутативные свойства кванторов:

$$\forall x, y A(x, y) = \forall y, x A(x, y). \quad (8)$$

$$\exists x, y A(x, y) = \exists y, x A(x, y). \quad (9)$$

Как видим, одноименные кванторы можно переставлять местами, а разноименные - нельзя.

Дистрибутивные свойства кванторов:

$$\forall x A(x) \wedge B = \forall x (A(x) \wedge B), \quad (10)$$

$$\forall x A(x) \vee B = \forall x (A(x) \vee B), \quad (11)$$

$$\exists x A(x) \wedge B = \exists x (A(x) \wedge B), \quad (12)$$

$$\exists x A(x) \vee B = \exists x (A(x) \vee B), \quad (13)$$

где буквой B обозначена формула, не содержащая переменной x . В том случае, когда формула B содержит переменную x , справедливы тождества:

$$\forall x A(x) \wedge \forall x B(x) = \forall x (A(x) \wedge B(x)), \quad (14)$$

$$\exists x A(x) \vee \exists x B(x) = \exists x (A(x) \vee B(x)). \quad (15)$$

Заметим, что при замене кванторов на противоположные, данные тождества нарушаются:

$$\exists x A(x) \wedge \exists x B(x) \neq \exists x (A(x) \wedge B(x)),$$

$$\forall x A(x) \vee \forall x B(x) \neq \forall x (A(x) \vee B(x)).$$

Однако, при небольшом «исправлении» правой части этих неравенств они превращаются в тождества:

$$\exists x A(x) \wedge \exists x B(x) = \exists x, y (A(x) \wedge B(y)), \quad (16)$$

$$\forall x A(x) \vee \forall x B(x) = \forall x, y (A(x) \vee B(y)). \quad (17)$$

Законы дистрибутивности для разноименных кванторов:

$$\begin{aligned} \exists x A(x) \wedge \forall y B(y) &= \\ = \exists x \forall y (A(x) \wedge B(y)) &= \forall y \exists x (A(x) \wedge B(y)), \end{aligned} \quad (18)$$

$$\begin{aligned} \exists x A(x) \vee \forall y B(y) &= \\ = \exists x \forall y (A(x) \vee B(y)) &= \forall y \exists x (A(x) \vee B(y)), \end{aligned} \quad (19)$$

Законы де Моргана для кванторов:

$$\neg \forall x A(x) = \exists x \neg A(x), \quad (20)$$

$$\neg \exists x A(x) = \forall x \neg A(x). \quad (21)$$

Законы де Моргана позволяют выразить один квантор через другой:

$$\forall x A(x) = \neg \exists x \neg A(x), \quad (22)$$

$$\exists x A(x) = \neg \forall x \neg A(x). \quad (23)$$

Докажем справедливость правил де Моргана для кванторов. Докажем тождество (22). Если $\forall x A(x) = 1$, то $A(x) = 1$, $\neg A(x) = 0$. Следовательно, $\exists x \neg A(x) = 0$, откуда $\neg \exists x \neg A(x) = 1$. Если же $\forall x A(x) = 0$, то $A(x) \neq 1$, $\neg A(x) \neq 0$, тогда $\exists x \neg A(x) = 1$ и $\neg \exists x \neg A(x) = 0$. Докажем тождество (23). Если $\exists x A(x) = 1$, то $A(x) = 1$, $\neg A(x) = 0$. Следовательно, $\forall x \neg A(x) = 0$ и $\neg \forall x \neg A(x) = 1$. Если же $\exists x A(x) = 0$, то $A(x) = 0$ и $\neg A(x) = 1$, $\forall x \neg A(x) = 1$ и $\neg \forall x \neg A(x) = 0$, что и требовалось доказать.

Аналогичным образом можно доказать все приведенные выше тождества и логики предикатов.

3. Предварительная нормальная форма

Аналогично тому, как в алгебре логики вводят стандартные формы функций – СДНФ и СКНФ, в логике предикатов вводят стандартную форму функции в виде так называемой предварительной нормальной формы (ПНФ). ПНФ называется любая формула логики предикатов, в которой:

1) в качестве элементарных булевых функций используются только отрицание, конъюнкция и дизъюнкция;

2) отрицание действует только непосредственно на булевы переменные или на предикаты;

3) все кванторы находятся в левой части формулы, следуя непосредственно друг за другом.

Рассмотрим алгоритм приведения формулы логики предикатов к ПНФ. Алгоритм будем сопровождать примером: преобразовать к ПНФ формулу

$$\exists x (\forall y A(x, y) \wedge \exists y \forall z (C(z) \supset B(x, y))).$$

Рассмотрим последовательно шаги алгоритма:

1) Избавляемся от знаков \supset и \sim , если они имеются в формуле:

$$\exists x (\forall y A(x, y) \wedge \exists y \forall z (C(z) \supset B(x, y))) =$$

$$\exists x (\forall y A(x, y) \wedge \exists y \forall z (\neg C(z) \vee B(x, y))) =$$

2) Используя правила де Моргана, опускаем знаки отрицания непосредственно на предикаты или на булевы переменные:

$$\forall x \neg (\forall y A(x, y) \wedge \exists y \forall z (B(x, y) \vee \neg C(z))) =$$

$$= \forall x (\neg \forall y A(x, y) \vee \neg \exists y \forall z (B(x, y) \vee \neg C(z))) =$$

$$= \forall x (\exists y \neg A(x, y) \vee \forall y \exists z (\neg B(x, y) \wedge C(z))) =$$

3) Используя дистрибутивные свойства кванторов, выносим все кванторы за скобки, производя, если это необходимо, замены связанных переменных:

$$\forall x (\exists y \neg A(x, y) \vee \forall u \exists z (\neg B(x, u) \wedge C(z))) =$$

$$= \forall x \exists y \forall u \exists z (\neg A(x, y) \vee \neg B(x, u) \wedge C(z))$$

В результате получаем ПНФ. Заметим, что представление предиката в виде ПНФ не единственно. В алгебре логики же удавалось представить лю-

бую функцию единственным образом в виде СДНФ или СКНФ.

Кроме ПНФ в логике предикатов используется ПНФ Сколема, отличающаяся тем, что в ней все кванторы существования стоят левее кванторов общности. Справедливо следующее утверждение: любую формулу логики предикатов можно преобразовать к ПНФ Сколема (принимая без доказательства).

4. Узкое исчисление предикатов

Рассмотрим теперь вопрос о формализации логики предикатов. В отличие от логики высказываний, логику предикатов не удастся формализовать "одним ударом". Существует целый ряд исчислений предикатов, одно сложнее другого, которые пытаются формализовать логику предикатов. Однако, до сих пор не удалось создать всеобъемлющего исчисления предикатов, охватывающего все важные аспекты логики предикатов. Более того, в настоящее время даже крепнет уверенность, что такое универсальное исчисление предикатов вообще построить невозможно.

Наиболее простым разделом исчисления предикатов является узкое исчисление предикатов. В нем, кроме средств исчисления высказываний, используются предикаты первого порядка и кванторы первого порядка. Простота этого исчисления достигается рядом запретов, ограничивающих силу его логических средств. Запреты эти сводятся к следующему: запрещается рассматривать предикаты и кванторы второго и выше порядков. Выразительная способность узкого исчисления предикатов настолько слаба, что с его помощью не удастся формализовать полностью даже арифметику натурального ряда чисел, т.е. самый простой раздел математики.

Символами узкого исчисления предикатов служат все символы исчисления высказываний, называемые высказывательными символами и, кроме того, предметные символы x, y, z, \dots , обозначающие предметные переменные, кванторные символы \forall и \exists , предикатные символы P, Q, R, \dots , обозначающие переменные предикаты и, наконец, запятая. Предикатные символы делят на группы одноместных, двуместных, ..., n -местных предикатных символов. Высказывательные символы A, B, C, \dots интерпретируем как логические переменные, буквы x, y, z, \dots - как предметные переменные, кванторные символы \forall и \exists - как кванторы общности и существования, n -местные предикатные символы - как n -арные предикаты.

В узком исчислении предикатов вводится понятие выражения, которым является любая конечная последовательность введенных символов. Понятие формулы узкого исчисления предикатов вводится с помощью следующего индуктивного определения.

1. Все формулы исчисления высказываний являются также и формулами исчисления предикатов.

2. Если x_1, x_2, \dots, x_n - предметные символы и P_n - n -местный предикатный символ, то выражение $P_n(x_1, x_2, \dots, x_n)$ - это формула.

3. Если x - предметный символ и X - формула, то выражения $\forall xX$ и $\exists xX$ - также формулы.

В узком исчислении предикатов вводят также и аксиомы. Имеется много различных предложений на этот счет. Мы рассмотрим систему аксиом, предложенную Расселом и усовершенствованную Гильбертом. Система эта содержит шесть аксиом, четыре из них совпадают с аксиомами исчисления высказываний, а пятая и шестая имеют следующий вид: 5) $\forall xP(x) \supset P(y)$; 6) $P(y) \supset \exists xP(x)$. Заметим, что последние два тождества являются очевидными законами логики предикатов, т.к. при любом значении y и любом P они равны единице. В самом деле: 1) если $P(x) \neq 1$, тогда имеет место $\forall xP(x) \supset P(y) = 0 \supset P(y) = 1$; если же $P(x) \equiv 1$, тогда $\forall xP(x) = 1$ и при любом y $P(y) = 1$, следовательно $\forall xP(x) \supset P(y) = 1 \supset 1 = 1$, т.е. пятая аксиома выполняется всегда; 2) если $P(x) \neq 0$, тогда $\forall xP(x) = 1$ и $P(y) \supset \exists xP(x) = P(y) \supset 1 = 1$; если же $P(x) \equiv 1$, тогда при любом y $P(y) = 0$ и $\exists xP(x) = 0$, следовательно, $P(y) \supset \exists xP(x) = 0 \supset 0 = 1$, т.е. шестая аксиома также выполняется всегда.

В аксиоматической системе Рассела-Гильберта имеется семь правил вывода: четыре правила подстановки и три схемы заключения. Рассмотрим их.

Правила подстановки:

1) Первое правило подстановки совпадает с правилом водстановки в исчислении высказываний;

2) Если X - теорема, x_1 - входящий в нее свободно (т.е. не связанный квантором) предметный символ, x_2 - произвольно взятый предметный символ, то формула, получающаяся подстановкой x_2 в X вместо x_1 - также теорема;

3) Если X - теорема, x_1 - предметный символ, связанный некоторым квантором, x_2 - произвольно взятый предметный символ, то формула, получающаяся подстановкой x_2 вместо всех вхождений символа x_1 , на которые распространяется действие данного квантора, - также теорема;

4) Если X - теорема, $P(x_1, x_2, \dots, x_n)$ - входящий в эту теорему предикат, Y - формула, в которой нет свободных предметных символов, кроме x_1, x_2, \dots, x_n , то формула, получающаяся подстановкой Y вместо всех вхождений данного предиката в X - тоже теорема.

Схеми заключення:

1) первая схема заключения совпадает со схемой заключения исчисления высказываний;

2) правило введения квантора общности: если формула вида $X \supset Y$ - теорема, то формула $X \supset \forall x Y(x)$ - тоже теорема;

3) правило введения квантора существования: если формула $Y(x) \supset X$ - теорема, то формула $\exists x Y(x) \supset X$ - тоже теорема;

Во второй и третьей схемах заключения x обозначает предметный символ, не входящий в формулу X и входящий в формулу Y свободно.

В узком исчислении предикатов вводятся также понятия гипотезы и следствия, справедлива теорема дедукции.

Перечислим основные свойства узкого исчисления предикатов. Узкое исчисление предикатов содержательно непротиворечиво. Это значит, что в нем могут быть выведены только тождественно истинные формулы. В логике предикатов тождественно истинной называют формулу, равную единице при любых значениях истинностных и предметных переменных, а также предикатов. Все тождественно истинные формулы логики предикатов можно интерпретировать как законы логики предикатов.

Примерами законов логики предикатов могут служить пятая и шестая аксиомы. Следующий пример также является законом логики предикатов: $\forall x P(x) \supset \exists x P(x)$.

Узкое исчисление предикатов содержательно полно, это значит, что в нем могут быть выведены все тождественно истинные формулы. Узкое исчисление предикатов формально непротиворечиво. Это значит, что в нем нельзя вывести ни одной формулы вместе с ее отрицанием. Однако, узкое исчисление предикатов формально неполно (в отличие от исчисления высказываний, которое является формально полным исчислением). Это значит, что к его системе аксиом можно добавить некоторую нетождественно истинную формулу, и исчисление предикатов при этом не станет формально противоречивым. В частности, доказано, что добавление к аксиомам формулы $\exists x P(x) \supset \forall x P(x)$ (а эта формула, конечно,

не тождественно истинна) не приводит к формальной противоречивости исчисления предикатов.

Все аксиомы узкого исчисления предикатов независимы друг от друга. Узкое исчисление предикатов неразрешимо (в отличие от исчисления высказываний, которое разрешимо). Это значит, что не существует алгоритма, позволяющего распознать тождественно истинные формулы среди всевозможных формул исчисления предикатов. Узкое исчисление предикатов входит как частный случай во все другие более сложные логические исчисления, поэтому они также неразрешимы. А именно с помощью узкого исчисления предикатов и его обобщений формализуются математические утверждения. Именно неразрешимость логического аппарата математики приводит к необходимости строить доказательство для каждой новой математической теоремы. Если бы все логические исчисления были разрешимы, то появилась бы возможность установления истинности любых теорем математики с помощью алгоритма, распознающего истинность теорем, записанных в виде некоторых логических формул. При этом отпала бы необходимость строить для каждой теоремы свое доказательство.

Вывод

В работе рассмотрена формализация высказываний с кванторами на основе аппарата исчисления предикатов. Продолжено изучение предикатного описания высказываний с кванторами. Рассмотрены представления кванторов конечных предикатов в виде логических произведений и сумм, тождественные преобразования формул с кванторами в исчислении предикатов.

Список литературы

1. Шабанов-Кушнаренко, С.Ю. Решение проблемы полного математического описания высказываний с применением исчисления предикатов [Текст] / С.Ю. Шабанов-Кушнаренко, Л.В. Шабанова-Кушнаренко // Проблемы информационных технологий. – 2016. – № 20.

Надійшла до редколегії 11.09.2016

Рецензент: д-р техн. наук, проф. І.В. Шостак, Національний аерокосмічний університет імені М.С. Жуковського «ХАІ», Харків.

ПРО ПРЕДИКАТНУ ФОРМАЛІЗАЦІЮ КВАНТОРІВ

С.Ю. Шабанов-Кушнаренко, Л.В. Шабанова-Кушнаренко

В роботі розглянуті подання кванторів багатомісних предикатів, кванторів скінченних предикатів у вигляді логічних творів і сум, тотожні перетворення формул з кванторами в численні предикатів.

Ключові слова: числення висловлювань, числення предикатів, просте висловлювання, квантори.

S.Yu. Shabanov-Kushnarenko, L.V. Shabanova-Kushnarenko

The paper discusses the representation of quantifiers multi predicates, quantifiers finite predicate in the form of logical products, and the amounts are identical transformation formulas with quantifiers in predicate calculus.

Keywords: propositional calculus, predicate calculus, simple statement, quantifiers.

Інформаційні технології

УДК 004.825

Д.Е. Василенко

Кировоградская летная академия Национального авиационного университета, Кировоград

РАЗРАБОТКА МЕТОДА ПОПОЛНЕНИЯ И КОНТРОЛЯ КОРРЕКТНОСТИ СТРУКТУР ЗНАНИЙ ОТКРЫТОЙ ЭКСПЕРТНОЙ СИСТЕМЫ РЕАЛЬНОГО ВРЕМЕНИ

Разработка экспертных систем различного назначения сопряжена с необходимостью разработки базы знаний. Одним из важных свойств базы знаний является ее полнота. Полнота предполагает наличие как можно большего числа правил, фактов и правил манипулирования ними. Для достижения полноты огромное число правил вносится в базу знаний и есть большая вероятность внесения противоречивых, взаимоисключающих правил. Внесение таких правил приводит к некорректности либо отказу в принятии решений. Поэтому актуальной является задача разработки процедуры контроля непротиворечивости знаний в открытых экспертных системах.

Ключевые слова: знания, база знаний, корректность знаний, экспертная система.

Введение

Развитие интеллектуальных технологий обработки данных предполагает широкое внедрение экспертных систем в системы управления различного назначения. Одним из важнейших этапов разработки экспертной системы (ЭС) является разработки базы знаний (БЗ). Конечной целью формализации знаний является их представление на уровне модулей БЗ и программ ЭВМ [1]. Следовательно, наиболее полным и корректным, с этой точки зрения, будет являться контроль непротиворечивости именно на этом уровне.

Непротиворечивость базовых элементов формальной модели знаний [2, 3], не означает, что таковыми не будут являться более сложные конструкции, составленные из них и принадлежащие к знаниям различных уровней иерархии в БЗ. Семантическая интерпретация элементов формальной модели знаний (например структуры сетевых установок (СЦУ)) будет относиться к одному уровню иерархии знаний, структура, объединяющая их в рассматриваемую сеть, к другому. Поэтому в рамках межуровневых противоречий должны быть рассмотрены противоречия базовых элементов (отношений, целевых установок (ЦУ), объектов). Для этих элементов знаний необходимо проанализировать возможные источники возникновения противоречий и их следствия.

Необходимо отметить, что если для структурных элементов, по отношению к которым аппарат формализации формируются определенные правила (правила достижения целей, правила использования запаса воздействия ресурса и т.д.), источники возникновения противоречий выявить достаточно про-

сто, то в отношении объектов это сделать в явном виде сложно.

Целью данной статьи является разработка процедуры контроля непротиворечивости знаний для открытой экспертной системы реального времени

Основная часть

Разработка методики контроля непротиворечивости отношений между целевыми установками. Представление отношений между ЦУ обобщенными отношениями следования определяют, в соответствии со свойствами отношений присоединения противоречий, необходимость анализа непротиворечивости всех составляющих этих отношений и их свойств.

К объектам контроля непротиворечивости необходимо отнести:

- правила, определяющие последовательность достижения целей, вытекающие из свойств отношений (строгость и порядок);
- правила, определяющие порядок формирования сложных отношений (правила ветвления сети);
- правила, определяющие порядок использования ресурсов;
- правила, определяющие порядок достижения целей по времени.

Следовательно, данная методика может быть представлена частными методиками контроля непротиворечивости соответствующих правил.

Методика контроля непротиворечивости последовательности достижения целей. В ряде работ показано, что для моделей, структура знаний которых представима в виде ориентированного графа, имеется возможность выявления противоре-

чивости последовательности достижения целей на основе анализа информации о структуре графа модели [4, 5, 10]. В частности, да СЦУ, объектом такого исследования может являться матрица инцидентности графа сетевой модели [6 – 8].

Показано [7, 5], что из свойств отношений между ЦУ (антисимметричность, антирефлексивность, транзитивность) следует, что наличие контуров графа сетевой модели свидетельствует о противоречивости этих отношений при рассмотрении порядка достижения целей. Под контуром, при этом, понимается конечный путь

$$\Theta = \{x_i, x_j, x_k, \dots, x_m\} \quad (1)$$

на графе, у которого совпадают конечная и начальная вершины, где x_p , ($p = i..m$) – ЦУ, представленная на графе в виде конъюнктивной или дизъюнктивной вершины.

Существует ряд методов поиска контуров на ориентированном графе [7 – 9]. Однако, в одних - поиск контуров осуществляется без учета информации о процессе последовательного изменения структуры графа, для реализации других - требуются существенные затраты вычислительных ресурсов.

Предлагаемая методика базируется на анализе матрицы инцидентности графа сетевой модели, построенной для обобщенных отношений следования между ЦУ.

Необходимым условием дальнейшего анализа является нумерация ЦУ по уровням иерархии сети.

В основу методики положен разработанный метод поиска контуров на графе сетевой модели. Пусть для сетевой модели графа построена матрица инцидентности обобщенных отношений следования и нумерация ЦУ выполнена по уровням иерархии целей. Тогда для любой строки матрицы инцидентности, наличие элементов, обозначающих отношения следствия

в столбце с большим или равным номером, чем у элементов обозначающих отношения причины, свидетельствует о наличии контура в графе. Длина контура L_k , при этом определяется выражением:

$$L_k = |K_{x_i} - K_{x_j}| + 1,$$

где K_{x_i}, K_{x_j} – соответственно наименьший и наибольший уровни иерархии ЦУ, образующих контур.

Таким образом, для выявления противоречивости порядка достижения целей, достаточно проанализировать матрицу инцидентности графа сети с учетом приведенных выше рассуждений.

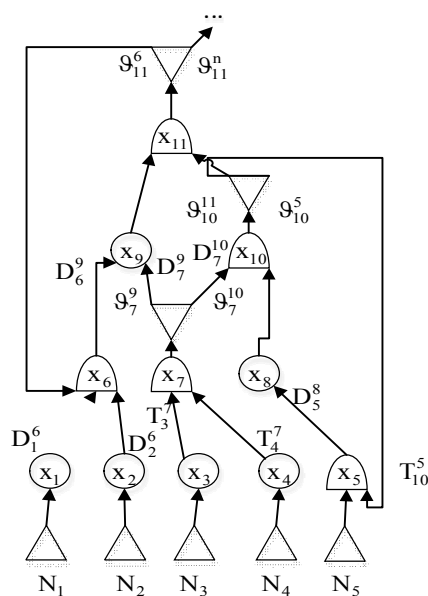
Существенным моментом в процессе устранения выявленных противоречивых отношений является их локализация.

Под локализацией противоречий будем понимать выявление и выделение множества противоречивых элементов знаний.

Локализация множества противоречивых отношений возможна посредством выделения граничных (контурообразующих) ЦУ на матрице инцидентности (например, вершин $\{x_6, x_{11}\}$ для контура №1 и вершин $\{x_5, x_{10}\}$ для контура №2 рис. 1), и последующего составления логической цепочки достижения целей в процессе образования контура.

Таким образом, методика контроля непротиворечивости последовательности достижения целей можно представить в следующем виде:

1. Формирование матрицы инцидентности графа сетевой модели. При этом осуществляется замена всех НУ на ЦУ «нулевого уровня».
2. Анализ матрицы инцидентности в соответствии с приведенными рассуждениями на наличие контуров графа сетевой модели.
3. При обнаружении контура - локализация контурообразующих вершин.



	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
0		Pr	Pr	Pr	Pr	Pr						
1	S1						Pr					
2	S1						Pr					
3	S1							Pr				
4	S1							Pr				
5	S1								Pr		S1	
6		S1	S1							Pr		
7				S1	S1					Pr	Pr	
8						S1					Pr	
9							S1	S1				
10						Pr		S1	S1			
11							Pr			S1	S1	

Контур 1: $\{x_6, x_9, x_{11}\}$;
 Контур 2: $\{x_5, x_8, x_{10}\}$.

Рис. 1. Фрагмент противоречивой СЦУ и матрицы инцидентности графа сетевой модели

Методика контролю непротиворечивости правил формирования сложных отношений

Правила формирования сложных отношений определяют порядок ветвления сети. Следовательно, возможные противоречия здесь могут возникнуть из-за неоднозначности заключений данных правил, что может привести к неоднозначности отношений следования и к изменению характера самих отношений.

Порядок выявления и локализации данных противоречий существенно облегчается ограниченным набором правил, определяющих множество следствий одной ЦУ. Правила, определяющие следствия других ЦУ, не могут влиять друг на друга вследствие независимости отношений. Правила формирования сложных отношений представлены продукциями вида

$$\exists O_a (\forall O_i \in O_a (\pi_j \equiv Y_m)) \Rightarrow (x_a \Rightarrow x_b),$$

где O_a - множество объектов анализа посылки; O_i, π_j, Y_m - соответственно объект анализа, признак, характеризующий некоторое свойство объекта и его значение, определяющее истинность посылки; x_a, x_b - соответственно предшествующая и последующая ЦУ. Содержанием операций продукционной посылки является анализ состояния некоторого объекта, значений признаков прагматической оценки ситуации и т.д. на соответствие его некоторому значению. Следовательно, в соответствии со свойствами отношений присоединения противоречий, наличие в множестве рассматриваемых правил одинаковой посылки и различных заключений может привести к противоречию, т.е. если $\{P_i\}, i=1..n$ - множество посылок, $\{S_k\}, k=1..m$ - множество заключений правила Q_r ветвления сети, определяющего условные отношения г-й ЦУ, то данное правило является противоречивым:

$$\exists i \exists j \left(\begin{aligned} &(P_i \rightarrow S_i) \wedge (P_j \rightarrow S_j) \wedge \\ &\wedge (P_i \equiv P_j) \wedge (S_i \neq S_j) \end{aligned} \right) \rightarrow (\not\equiv Q_r). \quad (2)$$

Таким образом, методику выявления противоречий рассматриваемого вида (с учетом возможности существования множества правил, определяющих условия следования из одной ЦУ) можно сформулировать в виде последовательности правил:

1. Выделение правил ветвления сети, определяющих следование из i -й ЦУ k -го уровня иерархии к целям $(k+1)$ -го уровня;
2. Выделение пересекающихся множеств объектов анализа в посылках отобранных правил;
3. Выделение в рассматриваемом множестве правил с различными заключениями;
4. Выделение множества противоречивых правил, для которых из одинаковых значений атрибутов объектов анализа в посылках следуют различные заключения.

Необходимо отметить, что выражение (2) справедливо для всех продукций и должно использоваться при контроле непротиворечивости всех соответствующим образом построенных правил в рамках рассматриваемого аппарата формализации.

Методика контроля непротиворечивости правил использования ресурсов. Фактические правила использования ресурсов составляются из соответствующих нормативных правил и определяются выражением

$$\forall k \exists R_k \Rightarrow \left(\text{Pr}_u^\Phi \equiv \bigcup_k \bigcap_m \left(\begin{aligned} &[N_i(R_k)], \\ &[P_{3u}(R_k)], N_{3kq} \end{aligned} \right) / \{Y_{pj}\} \right).$$

Противоречия в данном случае могут возникать при использовании одного фактического правила пересечения нескольких взаимоисключающих нормативных правил (их конъюнктивной комбинации). Пусть $R_{ih} = \{R_f^H\}, (f=1..m)$ - подмножество нормативных правил, конъюнктивно образующих h -ое фактическое правило R_{ih}^Φ расходования источников воздействия i -го ресурса. Имеется нормативно установленное множество $M^3 = \{M_l^3\}, (l=1..p)$ групп взаимоисключающих правил использования источников воздействий, $M_l^3 = \{R_{lq}^3\}, (q=1..u)$. Тогда условие противоречивости фактического правила расхода источников воздействий k -го ресурса будет иметь вид:

$$\exists i \exists j \left(\begin{aligned} &(R_i \in R_{kh}) \wedge (R_j \in R_{kh}) \wedge \\ &\wedge (R_i \in M_l^3) \wedge (R_j \in M_l^3) \end{aligned} \right) \rightarrow (\not\equiv R_{jk}^\Phi). \quad (3)$$

Методика контроля непротиворечивости правил использования ресурсов может быть сформулирована следующим образом:

1. Анализ правил в соответствии с (3)/
2. Формирование на этапе разработки взаимоисключающих групп нормативных правил расходования источников воздействий/
3. Анализ в процессе пополнения знаний на принадлежность составных частей фактических правил расхода источников воздействий, образующих конъюнктивную комбинацию, одной из взаимоисключающих групп нормативных правил.

Контроль непротиворечивости достижения целей по времени. Анализа правил, определяющих порядок достижения ЦУ по времени, корректно возможен только при проведении логического вывода в процессе эксплуатации. Реальные затраты времени на достижение тех или иных целей становятся определяемыми только после означивания некоторого набора НУ, проведения планирования расхода ресурсов и выработки плана действий. Проверка в данном случае может быть выполнена по анализу ранних и

поздних сроков наступления событий, определяющих достижение заданных целей и сравнение их и нормативными [2]. Условие корректности достижения целей по времени будет иметь вид:

$$\sum_{i=1}^n t_i^n \leq t_{\text{пред}},$$

где t_i^n - поздние сроки наступления событий достижения целей, определяемых выбранным вариантом решения, $t_{\text{пред}}$ - предельное нормативное время реализации решения.

Методика контроля непротиворечивости описаний целевых установок. Целевые установки, как структурные элементы знаний, обладают важным свойством, определяющим направления контроля непротиворечивости описаний ЦУ. Это - индивидуальность ЦУ. Корректно составленная сеть не должна содержать двух одинаковых ЦУ, находящихся на разных уровнях иерархии, так как в этом случае возможно нарушение свойства антирефлексивности отношений. Методика контроля непротиворечивости описаний ЦУ может быть представлена так:

1. Анализ МСЦУ на наличие одинаковых адресов ЦУ в различных столбцах (для стратегии прямого логического вывода), или в строках (при реализации стратегии обратного логического вывода)/

2. Наличие одинаковых значений указателей адресов свидетельствует об использовании на различных уровнях иерархии сети одних и тех же ЦУ, что приводит к противоречивости описаний целей.

Методика контроля непротиворечивости описаний целевых объектов. ЦУ включает описание некоторого множества целевых объектов, изменение состояния которых и определяет факт достижения цели. В процессе пополнения знаний в рамках одной ЦУ возможно формирование описаний одного объекта. Но достижение ЦУ может определяться различными его состояниями. Это может привести в процессе логического вывода к противоречивому толкованию содержания ЦУ.

Пусть в процессе формализации q -й ЦУ используется описание некоторого множества объектов $O_q = \{O_{q1}\}$. Достижение цели определяется множеством состояний $C_q = \{\xi_{qj}^t\}$ объектов, принадлежащих O_q . Тогда условие противоречивости описаний объектов в рамках одной ЦУ будет иметь вид:

$$\exists i \exists j ((O_i \in O_q) \wedge (\xi_{qi}^t \neq \xi_{qj}^t)) \rightarrow (\Leftrightarrow C_q). \quad (4)$$

Контроль полноты базы знаний. Объектами контроля полноты ФТ:

- правила, определяющие последовательность достижения целей;
- правила, определяющие порядок формирования сложных отношений;

- правила, определяющие порядок использования ресурсов;

- правила, определяющие порядок достижения целей по времени.

Контроль полноты описаний последовательности достижения целей предполагает проверку возможности достижения конечных целей системы при любом логически истинном наборе исходных посылок. То есть, для каждой ЦУ должно быть определено множество НУ, необходимых и достаточных условий ее достижения, следствие (целей, для которых данная ЦУ является одним из условий достижения истинности). Несоблюдение одного из перечисленных требований приводит к появлению неопределенных по условиям достижения ЦУ (при отсутствии необходимых и достаточных условий достижения) – «изолированных», «висящих», либо «тупиковых» ЦУ. В любом из данных случаев возможно возникновение ситуаций, при которых невозможно достижение конечных целей системы. При наличии «изолированных» вершин возможно возникновение ситуации, когда данная цель является актуальной, но вследствие отсутствия отношений с другими ЦУ - недостижима данный вид неполноты знаний приводит к возникновению априорных межаспектных противоречий.

Возникновение «изолированных», «висящих» и «тупиковых» ЦУ возможно, на основе анализа матрицы инцидентий графа сетевой модели, построенной для обобщенных отношений следования. Особенностью построения данной матрицы для рассматриваемого анализа является построение ее для всего набора ЦУ и НУ (отсутствие «нулевой» ЦУ). Это является необходимым условием выявления неполноты включения в СЦУ начальных условий. Неопределенность условий достижения какой-либо ЦУ приводит к тому, что для «тупиковой» цели x_i отсутствуют отношения следствия, для «висящих» вершин - отношения причины, «изолированных» целей или НУ - отношения и следствия и причины. Таким образом, отсутствие в матрицы инцидентий в строке i -й ЦУ (за исключением нулевой ЦУ и конечных целей) пары отношений (причины и следствия) свидетельствует о неполноте описаний последовательности достижения целей (рис. 2, цели $\{x_4, x_5, x_{10}\}$, НУ N_3). В отношении высших целей системы и НУ анализ полноты должен производиться только на наличие «изолированных» вершин. Данное утверждение следует из содержания матрицы инцидентий графа сетевой модели.

Контроль полноты правил формирования сложных отношений, правил использования ресурсов, правил достижения целей по времени должен осуществляться в отношении наличия в составе указанных правил объектов анализа в посылках и элементов следствия в заключениях. Признаки, подлежащие анализу в посылках, должны быть определены в БД, в виде соответствующих полей записей.

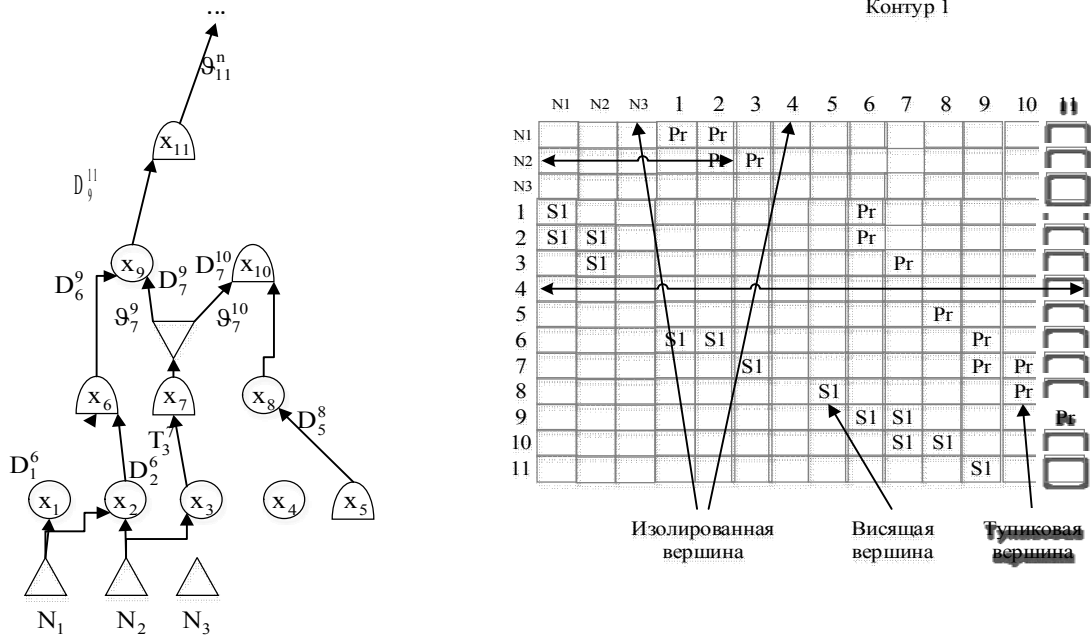


Рис. 2. Фрагмент неполной структуры целевых установок и матрицы инцидентий графа сетевой модели

Условие полноты для данных правил может быть сформулировано следующим образом. Пусть имеется правило P_i , подлежащее проверке на полноту описания. В ссылке Π_i правила осуществляется анализ значений подмножества признаков $\{w_j\}$, ($j = 1 \dots n$) интерпретация которых должна осуществляться на множестве $\{z(w_{ij})\}$ полей записей БД. В заключении данного правила определяется следствие в отношении множества $\{O_q\}$ элементов. Описание будет полным, если выполняется условие:

$$\forall w_{ij} (\exists \{z(w_{ij})\}) \rightarrow (P_i \in P), \quad (5)$$

где P – множество правил, удовлетворяющих условию полноты.

Полнота формализации целей и объектов должна предусматривать их описание в рамках всех аспектов знаний. С этой точки зрения наиболее важным является наличие описаний прагматического аспекта знаний при интерпретации цели в СЦУ. Таким образом, анализ полноты описания ЦУ должен предусматривать наличие и корректность всех составляющих элементов описания цели в соответствии с ее представлением АФ [4, 11]. Описание объектов осуществляется в рамках ЦУ, следовательно, анализ полноты описаний ЦУ будет охватывать соответствующий анализ описаний объектов.

Таким образом структура разработанного метода пополнения и контроля корректности структур знаний открытой экспертной системы реального времени представлена на рис. 3.

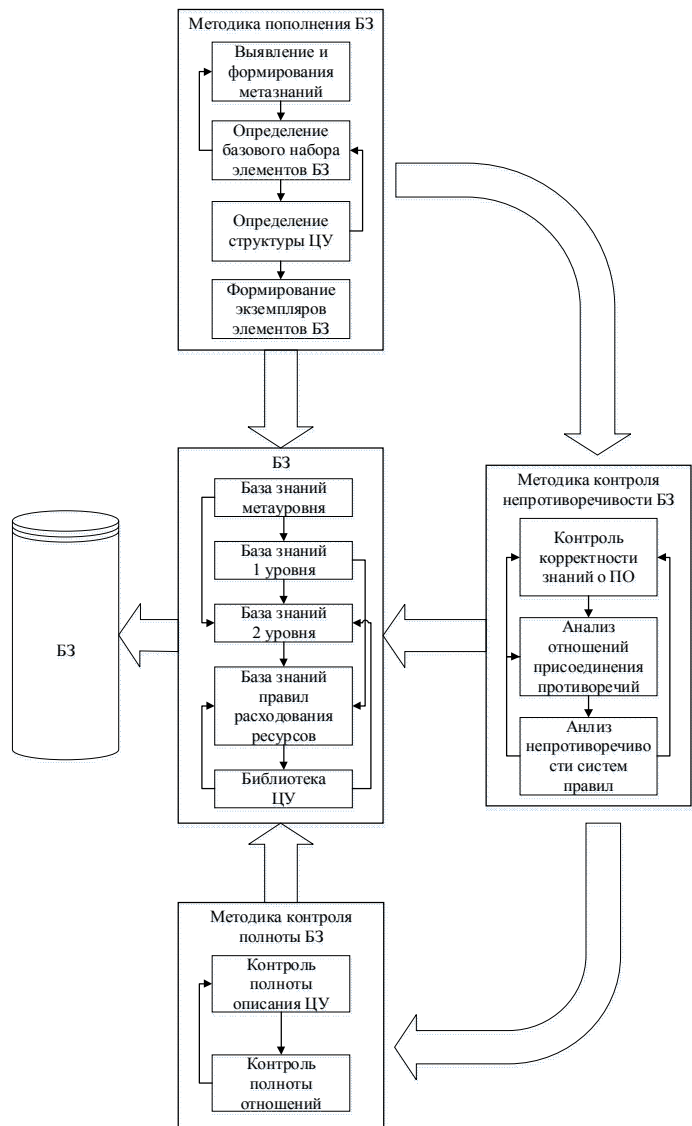


Рис. 3. Структура метода пополнения и контроля корректности базы знаний открытой экспертной системы реального времени

Заключення

1. Применение иерархического принципа в построении БЗ ОЭС позволяет учесть закономерности ПО, формализуемые на различных уровнях управления при разном уровне общности используемых на этих уровнях знаний.

2. Последовательное пополнение иерархической БЗ на различных этапах ее эксплуатации и условий ее применения позволяют существенно процесс адаптации ОЭС к решению конкретных задач. Разработанные методики пополнения БЗ различных уровней иерархии позволяют реализовать процесс пополнения БЗ на этапе эксплуатации без изменения функциональных свойств системы управления неподготовленными в отношении инженерии знаний пользователями.

3. Анализ свойств условных отношений присоединения противоречий позволяют определить методологическую основу анализа различных структур знаний на непротиворечивость.

4. Разработанные методики анализа позволяют выявлять некорректности структур знаний в рамках описаний различных аспектов, уровней иерархии и теорий.

5. Предложенные методики отличаются простотой реализации, отсутствием сложных преобразований и вычислений, что предопределяет их доступность для алгоритмизации и программирования. Незначительная продолжительность анализа позволяет использовать разработанные методики в интерактивном режиме реального масштаба времени.

движением / Д.Е. Василенко, Д.Н. Обидин, П.Г. Бердник, В.Н. Руденко // Системи озброєння і військова техніка. — 2016. — № 3 (47). — С. 44-49.

2. Василенко Д.Е. Разработка процедуры контроля непротиворечивости знаний для открытой экспертной системы реального времени / Д.Е. Василенко, Д.Н. Обидин, П.Г. Бердник // Системи обробки інформації. — Х.: ХУПС, 2016. — № 9 (146). — С. 90-93.

3. Искусственный интеллект. Справочник в 3-х книгах. Книга 2. Модели и методы / Под ред. Д.А. Поспелова. — М.: Радио и связь.-1990. — 304 с.

4. Теоретические основы автоматизации процессов выработки решений в системах управления / В.Е. Ярушек, В.П. Прохоров, Б.Н. Судаков, А.В. Мишин. — Харьков: ХВУ, 1993. — 446 с.

5. Object-Oriented Analysis and Design with Applications (3rd Edition) Grady Booch, Robert A. Maksimchuk, Michael W. Engle, Bobbi J. Young, Jim Conallen, Kelli A. Houston. — 720 p.

6. Domain-Driven Design: Tackling Complexity in the Heart of Software Eric Evans. — 442 p.

7. Vaughn Vernon Implementing Domain-Driven Design / Vaughn Vernon «ВИЛЬЯМС», 2016. — 688 p/

8. Когнітивний підхід до розробки інформаційних моделей в системах підтримки прийняття рішень / М.А. Павленко, В.К. Медведєв, П.Г. Бердник, С.В. Міхасьов // Наука і техніка Повітряних Сил Збройних Сил України. — 2016. — № 2 (23). — С. 138-141.

9. Гибридная модель знаний для распознавания ситуаций в воздушном пространстве / М.А. Павленко, А.И. Тимочко, Н.А. Королюк, М.Ю. Гусак // Автоматика и вычислительная техника. — Рига: АВТ, 2014. — Вып. 5, vol. 49. — С. 16-25.

Список литературы

Надійшла до редколегії 2.09.2016

1. Василенко Д.Е. Метод формализации знания в открытой экспертной системе реального времени в автоматизированных системах управления воздушным

Рецензент: д-р техн. наук, проф. Г.А. Кучук, Харківський національний університет Повітряних Сил ім. І. Кожедуба, Харків.

РОЗРОБКА МЕТОДУ ПОПОВНЕННЯ І КОНТРОЛЮ КОРЕКТНОСТІ СТРУКТУР ЗНАТЬ ВІДКРИТОЇ ЕКСПЕРТНОЇ СИСТЕМИ РЕАЛЬНОГО ЧАСУ

Д.Є. Василенко

Розробка експертних систем різного призначення пов'язана з необхідністю розробки бази знань. Однією з важливих властивостей бази знань є її повнота. Повнота передбачає наявність якомога більшої кількості правил, фактів і правил маніпулювання ними. Для досягнення повноти величезне число правил вноситься в базу знань і є велика ймовірність внесення суперечливих, взаємовиключних правил. Внесення таких правил призводить до некоректності чи відмови у прийнятті рішень. Тому актуальною є задача розробки процедури контролю несуперечності знань у відкритих експертних системах.

Ключові слова: знання, база знань, коректність знань, експертна система.

DEVELOPMENT OF METHODS FOR DEPOSITING AND CONTROL STRUCTURES PROPER KNOWLEDGE OF EXPERT SYSTEM OPEN LIVE

D.E. Vasilenko

Development of expert systems for various purposes is associated with the need to develop a knowledge base. One of the important properties of the base of knowledge is its completeness. Completeness implies the existence of an increasing number of rules, facts and rules to manipulate them. In order to achieve the fullness of a great number of rules introduced in the knowledge base and have a high probability of making contradictory and mutually exclusive rules. Adding to these rules leads to incorrect or denial decisions. Therefore, the actual problem is the development of consistency control procedures Knowledge in open systems expertise.

Keywords: knowledge, knowledge base, correct knowledge, expert system.

УДК 004.94

В.В. Косенко¹, Р.В. Артюх²¹ ДП "Харківський науково-дослідницький інститут технології машинобудування", Харків² ДП "ПІВДЕНДІПРОНДІАВІАПРОМ", Харків

УПРАВЛІННЯ РОЗПОДІЛОМ ТРАФІКА В ІНФОРМАЦІЙНО-ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЙНИХ МЕРЕЖАХ НА ОСНОВІ ПРИНЦИПУ ДЕКОМПОЗИЦІЇ

Розглянуто загальні принципи управління розподілом трафіку інформаційно-телекомунікаційної мережі. Досліджено декомпозицію завдання управління мережі. При цьому загальну задачу управління приведено до вирішення сукупності часткових завдань. Розглянуто найбільш важливі часткові задачі управління мережею, а саме завдання настройки мережі та завдання оперативного управління підмережами. Запропоновано математичні моделі розв'язання вказаних завдань.

Ключові слова: інформаційно-телекомунікаційна мережа, управління трафіком.

Вступ

В даний час спостерігається значний прогрес у галузі проектування, аналізу і оптимізації інформаційно-телекомунікаційних мереж (ІТМ). Однією з важливих задач аналізу та проектування телекомунікаційної мережі є визначення характеристик та управління розподілом трафіку як на рівні мережі, так і на рівні окремих складових та вузлів. Завданням управління трафіком сучасної ІТМ є не тільки задоволення потреб користувачів, але й забезпечення ефективного використання системних ресурсів [1]. Методи управління розподілом трафіку повинні враховувати особливості управління ієрархічними системами [2]. Крім того, принципи управління повинні дозволяти скорочувати розмірність вирішуваних завдань. Тому в межах задачі проектування та модернізації інформаційно-телекомунікаційної мережі (ІТМ) доцільно виділити загальні принципи управління розподілом трафіку ІТМ [3]: принцип декомпозиції; принцип координації управління роботою підмереж; принцип узгодження цілей управління підмережами.

Метою даної статті є дослідження застосування принципу декомпозиції задач до аналізу та адаптивного управління трафіком ІТМ.

Декомпозиція задачі управління

ІТМ має, як правило, має дуже велику розмірність (кількість вузлів може досягати декількох тисяч, число абонентів, десятків тисяч), тому безпосереднє рішення загальної задачі управління стосовно повної мережі, вимагає спеціальних підходів [4]. Для виходу з ситуації, що створилася, пропонується провести декомпозицію завдання управління, привівши рішення загальної задачі до вирішення сукупності часткових завдань.

Для проведення декомпозиції завдання управління заздалегідь проведемо декомпозицію інформаційно-телекомунікаційної мережі на множини

підмереж. Правила декомпозиції мережі повинні забезпечувати виконання таких умов:

1. Мережа розбивається на підмережі таким чином, щоб кожна підмережа управлялася автономно, і якість роботи підмережі визначалася функціоналом від параметрів тільки цієї підмережі.

2. Потоки даних між підмережами не повинні залежати від управління кожною підмережею.

Відзначимо, що перераховані умови можуть виконуватися, якщо декомпозиція мережі проводиться на рівні базових параметрів, що виходить з властивостей простору станів мережі. Тоді, кожен базовий варіант мережі задає множину підмереж і їх склад. При цьому потоки даних між підмережами можуть не залежати від того, як управляється кожна підмережа. Більш строго, особливості управління кожною підмережею, при якому потоки даних між підмережами залишаються незмінними, можна сформулювати таким чином.

Якщо управління кожною підмережею допускає перерозподіл системних прикладень тільки між вузлами цієї підмережі і не допускає перерозподілу вузлів і системних прикладень між підмережами, то при такому управлінні величини інтенсивностей потоків даних між підмережами не змінюються.

Для доказу наведеного твердження відмітимо, що ІТМ з виділеними підмережами може розглядатися як мережа з складною структурою (кількість підмереж – K_1). Сумарна інтенсивність потоків даних між підмережами і та j може бути обчислена як

$$A_1(C_1) = \|a_{1ij}\| = C_1 A(C_1)^T, \quad (1)$$

у котрій $A = \|a_{rk}\|$ ($r, k \in \overline{1, M}$, M – кількість задіяних вузлів) – інтенсивності потоків даних між вузлами r і k , величина яких залежить від розподілу системних прикладень по вузлах та від інтенсивності потоку запитів на запуск системних прикладень. Для обчислення інтенсивності потоків даних між підмережами використовується матриця розбиття

вузлів по підмережах $C_1 = \|c_{1ni}\|$ ($n \in \overline{1, K_1}, i \in \overline{1, M}$). Ця матриця при виконанні умов твердження залишається незмінною.

Хай тепер відбулося переміщення системного прикладення з одного вузла підмережі на інший вузол цієї ж підмережі. При цьому змінюються інтенсивності потоків даних між вузлами ІТМ, проте сумарні інтенсивності потоків між цим прикладенням і іншими, встановленими на вузлах поза даною підмережею, залишаються незмінними. Отже, переміщення системного прикладення усередині підмережі не змінює інтенсивність сумарних потоків даних між цією підмережею і іншими підмережами. Таким чином, якщо при такому управлінні розбиття не міняється, тобто матриця C_1 залишається постійною, і a_{rk} також не змінюються, то і матриця $A_1(C_1)$ також не змінюється, що і потрібно було довести.

Якщо при управлінні усередині підмережі проводиться перерозподіл системних прикладень і баз даних між вузлами підмережі, але це не викличе змін потоків між підмережами, хоча може викликати перерозподіл потоків усередині підмережі. Тоді виконуються умови твердження. Отже, управління усередині підмережі може перерозподіляти системні прикладення і бази даних усередині підмережі, перерозподіляти потоки даних між вузлами усередині підмережі.

Отриманий результат дозволяє розглядати завдання управління розподілом трафіку ІТМ як двох-етапне завдання, коли на першому етапі (етап настройки мережі) вирішується завдання налагодження, де формується склад підмереж і розподіл додатків і вузлів по підмережах, а на другому етапі вирішуються завдання оперативного управління підмережами, при цьому кожна підмережа управляється автономно. Для постановки завдань управління відзначимо, що, оскільки після рішення задачі настройки виділяються підмережі, кожна з яких управляється автономно, необхідно виділити множину параметрів управління для кожної підмережі [5]. Таку множину позначатимемо як UN_i , де i – номер підмережі. Розглянемо загальні завдання управління в цьому випадку.

Завдання налагодження мережі.

Вхідні дані: набір завдань, що вирішуються на мережі (кількість завдань – L); множина базових параметрів мережі – BSN ; множина базових параметрів управління мережею – UN_0 ; множина показників якості настройки мережі – QT_0 ; множина показників якості настройки мережі для кожного завдання – QT_0k (до = 1,2 ..., L); множина вагових коефіцієнтів $\{b_{0k}\}$ для приватних завдань; множина вагових коефіцієнтів $\{a_{0ik}\}$ для показників якості вирішення часткових завдань.

Необхідно знайти:

$$GT(UN_0^*) = \text{opt}_{UN_0} \left(\sum_{k=1}^L b_{0k} \sum_{i=1}^Q a_{0ik} \cdot q_{ik}(QT_{ik}) \right). \quad (2)$$

(параметри K_1, K_2, C_1, C_2 входять до складу множини базових параметрів управління мережею) при заданій системі обмежень:

$$SN_{01} \leq \overline{SN}_{01}; SN_{02} \geq \underline{SN}_{02}; S_k \leq S_k \leq \overline{S}_k, k = \overline{1, L}, \quad (3)$$

де $SN_0 = SN_{01} \cup SN_{02}$, \overline{SN}_{01} , \underline{SN}_{02} – множина граничних (допустимих) значень для базових параметрів мережі, S_k, \overline{S}_k – множина нижніх і верхніх граничних значень характеристик мережі, встановлених для завдання номер k . Так, повинні виконуватися, зокрема, такі конкретні обмеження:

$$\underline{M}_{\gamma j} \leq \sum_{i=1}^M c_{\gamma ji} \leq \overline{M}_{\gamma j}, j = \overline{1, K_1}, \gamma \in \{1, 2\}, \quad (4)$$

де $\underline{M}_{\gamma j}, \overline{M}_{\gamma j}$ – межі кількості вузлів для γ -го рівня;

$$\underline{A}_{\gamma} \leq A_{\gamma}(C_{\gamma}) \leq \overline{A}_{\gamma}, \gamma \in \{1, 2\}, \quad (5)$$

де $\underline{A}_{\gamma}, \overline{A}_{\gamma}$ – матриці меж для значень інтенсивностей потоків даних між і усередині груп γ -го рівня;

$$\underline{A}_{\gamma i}^*(Y_{\gamma i}^*) \leq A_{\gamma i}^*(Y_{\gamma i}^*) \leq \overline{A}_{\gamma i}^*(Y_{\gamma i}^*), \gamma \in \{2, 3\}, \quad (6)$$

де $\underline{A}_{\gamma i}^*(Y_{\gamma i}^*), \overline{A}_{\gamma i}^*(Y_{\gamma i}^*)$ – матриці меж інтенсивностей потоків між комутаторами γ -го рівня мережі;

Рішенням задачі налагодження мережі буде набір базових параметрів, що визначає розбиття вузлів мережі на підмережі, що забезпечує оптимальне значення показника якості роботи мережі. Елементом множини UN_0^* є, наприклад, матриця C_1 . Ще одним результатом рішення задачі настройки повинне бути визначення складу підмножин UN_i , де i – номер підмережі.

Далі повинні вирішуватися завдання оперативного управління підмережами.

Завдання оперативного управління підмережею

Вхідні дані: множина базових параметрів мережі – BSN , що включає множину оптимальних значень базових параметрів управління, – UN_0^* ; множина параметрів оперативного управління підмережею – UN_i ; множина показників якості оперативного управління підмережею – QT_i ; множина показників якості оперативного управління підмережею для кожного завдання, що вирішується в підмережі, QT_{ik} ($k = 1, 2, \dots, L$); множину вагових коефіцієнтів $\{b_{1k}\}$ для часткових завдань підмережі; множину вагових коефіцієнтів $\{a_{1iok}\}$.

Необхідно знайти:

$$GT_i^*(UN_i^*) = \text{opt}_{UN_i} \left(\sum_{k=1}^L b_{1k} \sum_{j=1}^Q a_{1ijk} \cdot q_{jk}(QT_{ijk}(S_{ik})) \right) \quad (7)$$

при заданій системі обмежень:

$$SN_{1i} \leq \overline{SN}_{1i}; SN_{2i} \geq \underline{SN}_{2i}; S_{ik} \leq S_{ik} \leq \overline{S}_{ik}, k = \overline{1, L}, \quad (8)$$

де $SN_{1i} = SN_{1i} \cup \overline{SN}_{1i}$, \underline{SN}_{2i} – множина граничних значень для параметрів підмережі, $S_{ik}, \overline{S}_{ik}$ – множина граничних значень характеристик мережі, встановлених для завдання k .

Рішенням задачі оперативного управління буде оптимальний набір параметрів оперативного управління UN_{1i}^* на кожному кроці управління. Запропонований підхід забезпечує такі переваги:

1. Скорочується розмірність завдання настройки мережі, оскільки в порівнянні із загальним завданням управління скорочується число обмежень і спрощується цільова функція.

2. Проводиться декомпозиція завдання оперативного управління на завдання оперативного управління підмережами, що дає можливість скоротити розмірність кожного завдання.

3. З'являється можливість незалежного вирішення завдань оперативного управління підмережами, застосовуючи для кожного завдання свої набори показників якості і параметрів управління, а також алгоритми управління.

Проте декомпозиція завдання управління припускає узгоджене управління всіма підмережами, для чого потрібно забезпечити узгодження цілей управління для підмереж.

Висновки

Визначені можливості застосування загальних принципів управління складною системою: декомпозиція, координація і узгодження цілей у разі управління розподілом трафіку. Показані можливості декомпозиції мережі шляхом виділення окремих підмереж. Досліджені завдання координації при управлінні підмережами, що дозволило сформулювати правила координації управління, що дають можливість ухвалювати обґрунтовані рішення при управлінні підмережами. Для узгодження цілей

управління запропоновано використовувати аддитивні функціонали якості управління всією мережею, що включають зважені функції якості управління окремими підмережами, що дозволяє локалізувати завдання оперативного управління. Перераховані результати дають можливість звести загальне завдання управління розподілом трафіку до сукупності завдань управління підмережами, з виконанням вимог до показників якості роботи як всієї мережі, так і окремих підмереж. Досліджені деякі завдання налагодження і оперативного управління, що зустрічаються на практиці: завдання управління розподілом смуги пропускання каналу зв'язку (управління роботою комутатора), завдання розподілу ресурсів багатосерверного вузла обробки інформації.

Результати роботи можуть бути використані при проектуванні та модернізації складних ІТМ та розробки методів управління трафіком мережі.

Список літератури

1. Kim H. *Improving network management with software defined networking* / H. Kim, N. Feamster // *IEEE Communications Magazine*. – 2013. – Т. 51, №. 2. – С. 114-119.
2. Climaco J., Craveirinha J., Girão-Silva R. *Multicriteria Analysis in Telecommunication Network Planning and Design: A Survey* // *Multiple Criteria Decision Analysis*. – Springer New York, 2016. – С. 1167-1233.
3. Кучук, Г.А. *Інформаційні технології управління інтегральними потоками даних в інформаційно-телекомунікаційних мережах систем критичного призначення* [Текст] / Г.А. Кучук. – Х.: ХУПС, 2013. – 264 с.
4. Юдін, О.К. *Принципи побудови комплексної системи захисту державних інформаційних ресурсів* / О.К. Юдін, С.С. Бучик // *Наукоємні технології*. – 2015. – Т. 25, №. 1. – С. 15-20.
5. Кучук, Г.А. *Метод синтезу інформаційної структури зв'язного фрагменту корпоративної мультисервісної мережі* / Г.А. Кучук // *Збірник наукових праць Харківського університету ПС*. – Х.: ХУПС, 2013. – Вип. 2. – С. 97-102.

Надійшла до редколегії 2.06.2016

Рецензент: д-р техн. наук, проф. І.В. Рубан, Харківський національний університет радіоелектроніки, Харків.

УПРАВЛЕНИЕ РАСПРЕДЕЛЕНИЕМ ТРАФИКА В ИНФОРМАЦИОННО-ТЕЛЕКОММУНИКАЦИОННЫХ СЕТЯХ НА ОСНОВЕ ПРИНЦИПА ДЕКОМПОЗИЦИИ

Н.В. Косенко, Р.В. Артюх

Рассмотрены общие принципы управления распределением трафика информационно-телекоммуникационной сети. Исследована декомпозиция задачи управления сети. При этом общую задачу управление приведено к решению совокупности частичных задач. Рассмотрено наиболее важные частичные задачи управления сетью, а именно Задача настройки сети и Задача оперативного управления подсетями. Предложены математические модели решения указанных задач.

Ключевые слова: информационно-телекоммуникационная сеть, управление трафиком.

TRAFFIC DISTRIBUTION MANAGEMENT IN INFORMATION AND TELECOMMUNICATIONS NETWORKS BASED ON THE PRINCIPLE OF DECOMPOSITION

V.V. Kosenko, R.V. Artyukh

The general principles of the traffic distribution control information and telecommunications network are considered. Studied the decomposition of network management tasks. In this common task management is given to the solution set of partial tasks. Considered the most important partial network management tasks, namely the task of network configuration and tasks of the operational management of subnets. The mathematical models to solve these problems are offered.

Keywords: information and telecommunications network, traffic management.

УДК 621.382.08

І.І. Обод, О.П. Черних, О.С. Мальцев, Г.В. Майстренко

Харківський національний університет радіоелектроніки, Харків

АДАПТИВНЕ УПРАВЛІННЯ ЗОНОЮ ОБСЛУГОВУВАННЯ РУХОМИХ ІНФОРМАЦІО-КОМУНІКАЦІЙНИХ СИСТЕМ

У статті на підставі аналізу енергетики радіолінії рухомих інформаційно-комунікаційних систем за умов поширення сигналу в залежності від складного виду забудов показано, що використання широкосмугових радіосигналів дозволяє адаптивно управляти зоною обслуговування рухомих інформаційно-комунікаційних систем, вибираючи необхідну базу радіосигналу та підвищувати завадозахищеність розглянутих систем.

Ключові слова: енергетика радіолінії, рухома інформаційно-комунікаційна система.

Вступ

Постановка проблеми і аналіз літератури. Рухомі інформаційно-комунікаційні системи (РІКС) користуються у всьому світі все більшою популярністю. Вони мають безперечні переваги при відсутності або недостатньому розвитку кабельної інфраструктури (важкодоступні райони, сільська місцевість, приміські зони), неможливості прокладки волоконно-оптичних ліній зв'язку або занадто великої вартості для користувача при підключенні. Сучасні вимоги до бездротової передачі даних, які забезпечують мобільність користувачів, передбачають високі швидкості передачі даних і можливості роботи багатьох користувачів з такими системами [1, 2]. Вирішення цієї актуальної задачі можливе тільки при широкому використанні адаптивної просторово-часової обробки сигналів [3, 4]. Як правило, при створенні мереж РІКС починають покриття на великій території і згодом розширюють мережу до більш великих масштабів. Це здійснюється двома способами:

- розширення базової станції новими секторами, які дадуть більше пропускної здатності у зоні покриття базової станції;
- побудова нових базових станцій для збільшення територіального покриття.

При створенні мереж РІКС при малій кількості абонентів перспективним напрямком є забезпечення можливості управління зоною обслуговування розглянутих систем. Як правило, таке управління має бути адаптивним, що дозволить забезпечити одночасно необхідну дальність радіозв'язку і оптимальну пропускну здатність.

Мета роботи: адаптивне управління зоною обслуговування рухомою інформаційно-комунікаційною системою.

Основна частина

Під зоною обслуговування РІКС будемо розуміти область простору в межах якого ймовірність

помилки на біт інформації не вище заданої, тобто виконується така умова

$$r = f(P_e \leq P_{e\min}). \quad (1)$$

При цьому слід зазначити, що ймовірність помилки на біт інформації визначається енергетикою радіолінії. У той же час при проектуванні систем виникають невизначеності при визначенні характеристик радіоканалу в результаті особливостей поширення радіохвиль, а також впливу перешкод, в каналі при складній забудові місцевості. Радіохвилі в складних умовах, як правило, через відбиття від перешкод одночасно поширюються за декількома напрямками і в точці прийняття складаються. При цьому хвилі можуть бути когерентними (різниця фаз постійна або повільно змінюється) і некогерентними, коли різниці фаз швидко змінюються в часі та може приймати будь-які значення [1]. Ця особливість поширення радіохвиль призводить до посилення або ослаблення та іншим спотворенням сигналу.

Для визначення загасання сигналу в радіоканалі в умовах складної міської забудови, як правило, використовують широко відомі моделі [2].

Найважливішою характеристикою РІКС необхідно вважати потужність передавача, яка забезпечує необхідну ймовірність помилки (1). Енергетика радіолінії РІКС в найзагальнішому випадку за умов поширення сигналу в залежності від складного характеру забудов можна визначити з наступного виразу [2]:

$$P = \frac{16 \pi^2 r^\mu \xi k T \Delta F L}{r_0^{\mu-2} \lambda^2 G_1 G_2 B}. \quad (2)$$

де P – потужність передавача; G_1, G_2 – коефіцієнт посилення антени передавача і приймача; T – приведена до опромінювача антени шумова температура приймальної системи; r – довжина лінії зв'язку; r_0 – базова відстань; k – постійна Больцмана; ΔF – смуга пропускання приймального тракту; L – загасання сигналу в лінії зв'язку; λ – довжина хвилі;

ξ – коефіцієнт збільшення шумовий температури системи за рахунок впливу зовнішніх шумів і взаємних шумових завад між суміжними каналів в багатоканальної системи; μ – коефіцієнт втрати сигналу через особливості його поширення в складних умовах; B – база сигналу.

Як показано в [2], величина μ в залежності від характеру зовнішнього середовища становить $\mu = 1,62 \div 6$.

Для забезпечення оптимальної енергетики систем використовують новітні методи кодування і модуляції сигналу. Саме методи кодування сигналу для боротьби з помилками в умовах дії завад забезпечують енергетичний вигравш в системі до 6-8 дБ, навіть, незважаючи на розширення спектра сигналу. З метою збільшення швидкості передачі сигналу при цій смузі пропускання каналу використовують багатопозиційна відносно фазову маніпуляцію і квадратурну амплітудно-фазову маніпуляцію.

Аналіз виразу (2) показує, що адаптивне управління зоною обслуговування РІКС може бути здійснено за рахунок управління: просторової вибіркової дії антен; бази використовуваних сигналів.

Перший з методів дуже ефективний, але потребує використання адаптивної антенної решітки.

Другий варіант більш кращий. Дійсно, для захисту РІКС від вузькосмугових і широкосмугових завад можна використовувати широкосмугові сигнали. Унікальною властивістю цих сигналів є їх висока завадозахищеність, що дозволяє здійснити скритність, поліпшити енергетику радіоліній і, отже, підвищити завадозахищеність РІКС [2, 5].

Оцінимо ймовірність помилки на біт інформації при дії навмисних і ненавмисних завад на РІКС в якій використовуються сигнали з фазовою маніпуляції і різними швидкостями кодування, яка, в загальному випадку, визначається як

$$P_e = \frac{1}{2} \left[1 - \Phi \left(\sqrt{D_{1,2}/(2N_0)} \right) \right], \quad (3)$$

де $D_{ij} = \int_0^T [x_{Si}(t) - x_{Sj}(t)] [x_{Si}(t) - x_{Sj}(t)]^* dt$ – енергетична відстань між сигналами, N_0 - спектральна щільність потужності шуму, яку можна визначити як $N_0 = kT(K_{ch} - 1)$, K_{ch} – коефіцієнт шуму приймача, T – температура, а функція Лапласа:

$$\Phi(x) = \frac{2}{\sqrt{2\pi}} \int_0^x e^{-t^2/2} dt.$$

Енергетична відстань між сигналами при використанні фазової маніпуляції оцінюється як

$$D_{i,i+1} = 2\sqrt{E} \sin(\pi/M). \quad (3)$$

Будемо вважати, що відстань між мобільною і базовою станціями складає r . Тоді щільність потоку

енергії, яка утворюється випромінюванням сигналом в місці розміщення приймальної антени РІКС становить

$$S_{pr} = PG/4\pi r^2.$$

Потужність сигналу на вході приймача, в цьому випадку, можна записати:

$$P_{pr} = S_{pr}A = PGA/4\pi r^2,$$

де A – ефективна площа антени приймача.

Слід зазначити, що при оцінці потужності сигналу на вході приймача необхідно враховувати коефіцієнти, які оцінюють втрати енергії сигналу за рахунок розбіжності поляризації, а також втрати сигналу в антенно-фідерному тракті приймача. Для виявлення сигналів необхідно, щоб відношення сигнал/шум було більше порогового. Відношення сигнал-шум можна оцінити на основі наступного виразу S_{pr} . Якщо на приймач РІКС з декількох напрямків впливає J джерел флуктуаційних завад то, в результаті дії завад, спектральна щільність потужності N_0 внутрішнього шуму, перерахованого до входу приймача, доповнюється сумарною спектральною щільністю потужності J зовнішніх завад N_0 , яка визначається співвідношенням

$$N_p = \sum_{j=1}^J \frac{P_{pj}}{4\pi r_j^2 \Pi_{pj}} A_j,$$

де $P_{pj}(G_{pj})$ – ефективна випромінювана потужність і коефіцієнт посилення антени j -того постановника завади, Π_{pj} – ширина її енергетичного спектру, r_j – відстань від постановника до приймача РІКС, A_j – ефективна площа приймальної антени для напрямку приходу і поляризації завадових коливань j -го джерела завад.

Таким чином, якщо на РІКС впливає флуктуаційний заважаючий сигнал з середньою потужністю P_j , який повністю покриває її робочу смугу Π і аналогічно стаціонарного гаусовому шуму має нульове середнє і рівномірну спектральну щільність потужності $J_0 = P/\Pi$, то співвідношення сигнал/(шум + завада) на вході приймача РІКС визначимо наступним чином:

$$q = \sqrt{P_{pr}/(N_0 + J_0)}. \quad (4)$$

Зважаючи на (2), (3) та (4) і з урахуванням швидкості кодування $V_k = k/n$ отримуємо ймовірність P_e при передаванні рівноможливих сигналів фазової модуляції:

$$P_e = \frac{1}{2} \left[1 - \Phi \left(\sqrt{\frac{2PGAn}{4\pi r^2 (N_0 + J_0)k}} + \sin \frac{\pi}{M} \right) \right]. \quad (5)$$

При цьому слід враховувати що $E_S = E_0 \log M$ – енергія на один символ.

Розрахунки ймовірності помилки на біт інформації, при використанні широкосмугових сигналів з фазовою маніпуляцією і потужності випромінювання, що дорівнює 1 Вт, представлені на рис. 1.

Наведені розрахунки показують, що, використовуючи оцінку енергетики радіолінії, можна адаптивно управляти зоною обслуговування РІКС шляхом вибору бази сигналу, що використовується.

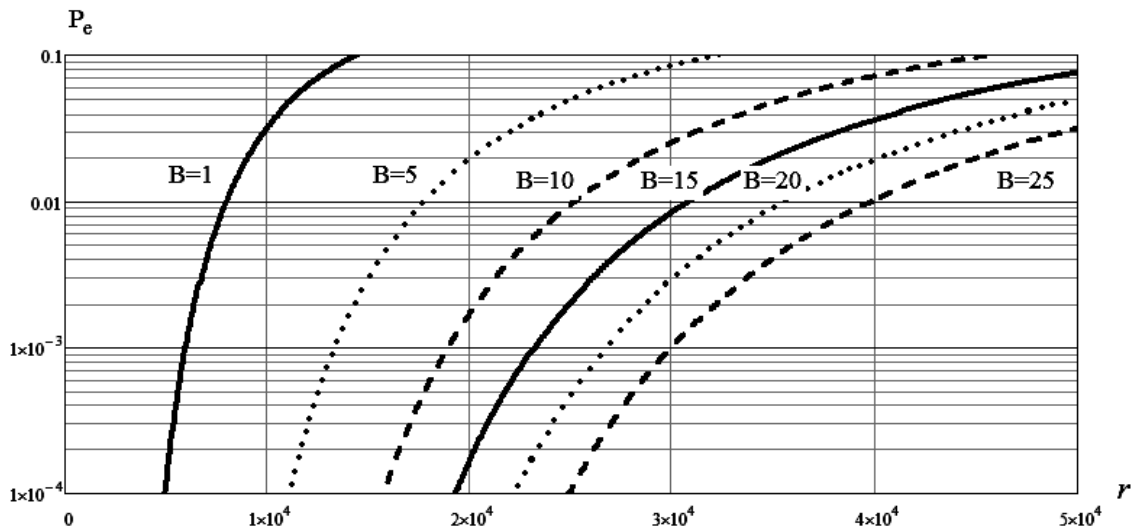


Рис. 1. Вплив бази радіосигналу на ймовірність бітової помилки при $n/k = 5/6$

Висновки

Наведені вище розрахунки дозволяють запропонувати алгоритм адаптивного управління МАС-рівнем РІКС. Цей алгоритм повинен передбачати аналіз характеристик бездротового середовища передачі даних, в також повинен дати бездротовому пристрою можливість динамічної зміни різних параметрів МАС-рівня в залежності від змін середовища шляхом зміни бази сигналу передачі.

Список літератури

1. Вильмс Столлингс. Беспроводные линии связи и сети / Вильмс Столлингс. - М.-СПб.-К.: Вильямс, 2003. - 639 с.
2. Вишневикий В.М. Широкополосные беспроводные сети передачи информации / В.М. Вишневикий, А.И. Ляхов, С.Л. Портной, И.В. Шахнович. - М.: Техносфера, 2005. - 592 с.

3. Обод И.И. Оценка влияния помех на скорость передачи информации в пакетных сетях передачи данных / И.И. Обод, И.Л. Яценко, Т. Маазерани, Р. Муслимани // Вестник НТУ «ХПИ». Вып. 11. - Харьков: НТУ «ХПИ», 2009. - С.133-141.

4. Обод И.И. Адаптивная оптимизация швидкості передачі інформації в системах радіодоступу за наявності завад / И.И. Обод, А. Алали, М. Фатроні // Вісник Національного технічного університету «ХПИ»: Збірник наукових праць. Серія: Техніка та електрофізика високих напруг. - Вып. 27 (1000). - Х.: НТУ „ХПИ”. - 2013. - С.119-123.

Надійшла до редколегії 13.08.2016

Рецензент: д-р техн. наук, проф. О.А.Серков, Національний технічний університет «ХПИ», Харків.

АДАПТИВНОЕ УПРАВЛЕНИЕ ЗОНОЙ ОБСЛУЖИВАНИЯ ПОДВИЖНЫХ ИНФОРМАЦИОННО-КОМУНИКАЦИОННЫХ СИСТЕМ

И.И. Обод, Е.П. Черних, А.С. Мальцев, Г.В. Майстренко

В статье, на основании анализа энергетики радиолинии подвижных информационно-коммуникационных систем при условиях распространения сигнала в зависимости от сложного характера застроек показано, что использование широкополосных радиосигналов позволяет адаптивно управлять зоной обслуживания мобильных систем телекоммуникации, выбирая требуемую базу используемого радиосигнала и повысить помехозащищенность рассматриваемых систем.

Ключевые слова: энергетика радиолинии, подвижная информационно-коммуникационная система

ADAPTIVE MANAGEMENT OF SERVICE AREA FOR MOBILE INFO-COMMUNICATION SYSTEMS

I.I. Obod, O.P. Chernykh, O.S. Maltsev, G.V. Maistrenko

The article shows that based on the budget radio link analysis of mobile info-communication systems the usage of wide-band radio-signals allows to adaptive control the serviced area in mobile info-communication systems by choosing required radio-signal basis, depending on the signal propagation environment and the complexity of the terrain. This improves interference immunity of the considered systems.

Keywords: radio link budget, mobile info-communication system.

УДК 623.618

С.А. Олізаренко, О.Ю. Лавров

Харківський національний університет Повітряних Сил імені Івана Кожедуба, Харків

РОЗРОБКА ПРОПОЗИЦІЙ З ПЕРЕРАХУНКУ ПІКСЕЛЬНИХ КООРДИНАТ ПРОСТОГО ОБ'ЄКТА ПОВІТРЯНОЇ РОЗВІДКИ НА ЦИФРОВОМУ АЕРОФОТОЗНІМКУ В ГЕОДЕЗИЧНІ КООРДИНАТИ

В статті з метою визначення місцезнаходження (координат) простих об'єктів повітряної розвідки при їх виявленні та класифікації на цифровому аерофотознімку розроблені пропозиції з перерахунку піксельних координат простого об'єкта на знімку в геодезичні координати WGS 84.

Ключові слова: простий об'єкт, повітряна розвідка, виявлення, класифікація, піксельні координати, геодезичні координати, цифровий аерофотознімок.

Вступ

Постановка проблеми. Одним з важливих етапів дешифрування аерофотознімків, отриманих за результатами повітряної розвідки, є етап визначення координат простих об'єктів повітряної розвідки за результатами їх виявлення та класифікації на отриманому знімку. На даний час процедури визначення координат в існуючих вітчизняних комплексах обробки даних повітряної розвідки не відповідають вимогам щодо оперативності та точності визначення координат простих об'єктів. При цьому визначення координат виконуються за результатами доставки та обробки аерофотоплівок без врахування сучасних тенденцій використання цифрових аерофотознімків з використанням піксельних координат об'єкта. Безпосередньо при визначенні координат необхідно виявити так звані три опорні точки з прив'язкою аерофотознімка до карти і з пошуком опорних точок в прямокутній системі координат [1]. Прив'язка при цьому виконується візуальним способом і координати опорних точок та простих об'єктів вводяться вручну, що в свою чергу значно впливає на оперативність та точність визначення координат. Автоматично виконується тільки розрахунок прямокутних координат об'єкта розвідки. Таким чином на даний час в вітчизняних комплексах обробки даних повітряної розвідки відсутні процедури перерахунку піксельних координат простого об'єкта повітряної розвідки на цифровому аерофотознімку в геодезичні координати, що в свою чергу визначає актуальність розробки нових пропозицій щодо визначення координат простих об'єктів з урахуванням вимог до точності та оперативності їх визначення.

Аналіз літератури. На даний час найбільш ефективні підходи щодо визначення місцезнаходження (координат) простих об'єктів повітряної розвідки за результатами обробки цифрових аерофотознімків реалізовані в комплексах обробки даних повітряної розвідки країн НАТО.

Так, приклад роботи процедури перерахунку піксельних координат на цифровому знімку в геодезичні координати WGS 84 реалізовано в спеціалізованому програмному забезпеченні SENS RB Conversion Tool [2]. При цьому отримана координатна інформація доповнюється зображеннями виділених областей зображення земної поверхні знятих знімальною системою літального апарату і приводиться до формату даних NITF 02.1, який є уніфікованим, наприклад, для всіх безпілотних авіаційних комплектів країн НАТО. Відповідна стаття є дослідженням передового досвіду з питань визначення місцезнаходження (координат) простих об'єктів повітряної розвідки за результатами обробки цифрових аерофотознімків з подальшою розробкою процедури автоматизованого перерахунку піксельних координат на цифровому знімку в геодезичні координати.

Метою статті є розробка пропозицій з перерахунку піксельних координат простого об'єкта повітряної розвідки на цифровому аерофотознімку в геодезичні координати для подальшої автоматизації відповідного процесу за результатами виявлення та класифікації простих об'єктів на цифрових аерофотознімках.

Основна частина

Дані від систем позиціонування (IMU/GPS), необхідні для перерахунку піксельних координат простого об'єкта повітряної розвідки (ПР) на цифровому аерофотознімку в геодезичні координати, включають:

- геодезичні координати літального апарату (широта, довгота, висота на рівнем моря);
- кути, які описують положення літального апарату в повітрі (курсу, тангажу, ролання);
- лінійні швидкості по осям;
- лінійні прискорення по осям;
- кутові швидкості по осям;
- прискорення кутових швидкостей по осям;

дані калібрування положення літального апарату та оптико-електронного обладнання;

прямокутні координати положення платформи на якій встановлено оптико-електронне обладнання відносно центра мас літального апарату;

кути, які описують положення платформи на якій встановлено оптико-електронне обладнання відносно центра мас літального апарату.

Сутність процедури перерахунку піксельних координат простого об'єкта ПР на цифровому знімку в геодезичні координати WGS 84 складається з поетапного перетворення систем координат, що в графічному вигляді представлено на рис. 1 [3].

Першим етапом перерахунку координат є перетворення геодезичних координат літального апарату у просторові прямокутні координати відповідно до такого виразу:

$$\begin{bmatrix} X_E \\ Y_E \\ Z_E \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} (N_E + h_{uav}) \cos \phi_{uav} \cos \lambda_{uav} \\ (N_E + h_{uav}) \cos \phi_{uav} \sin \lambda_{uav} \\ (N_E \cdot (1 - e^2) + h) \cdot \sin \phi_{uav} \end{bmatrix}, \quad (1)$$

де X_E, Y_E, Z_E – просторові прямокутні координати літального апарату, $h_{uav}, \phi_{uav}, \lambda_{uav}$ – геодезичні координати літального апарату, N_E – радіус кривизни першого вертикалу, який обчислюється таким чином:

$$N_E = \frac{a_E}{\sqrt{1 - e_E^2 \cdot \sin^2 \phi_{uav}}}, \quad (2)$$

де a_E – радіус геоїда на екваторі, який становить 6378136 метрів, e_E – перший ексцентриситет меридіанного еліпса, який становить 0,006694379989 метрів [4].

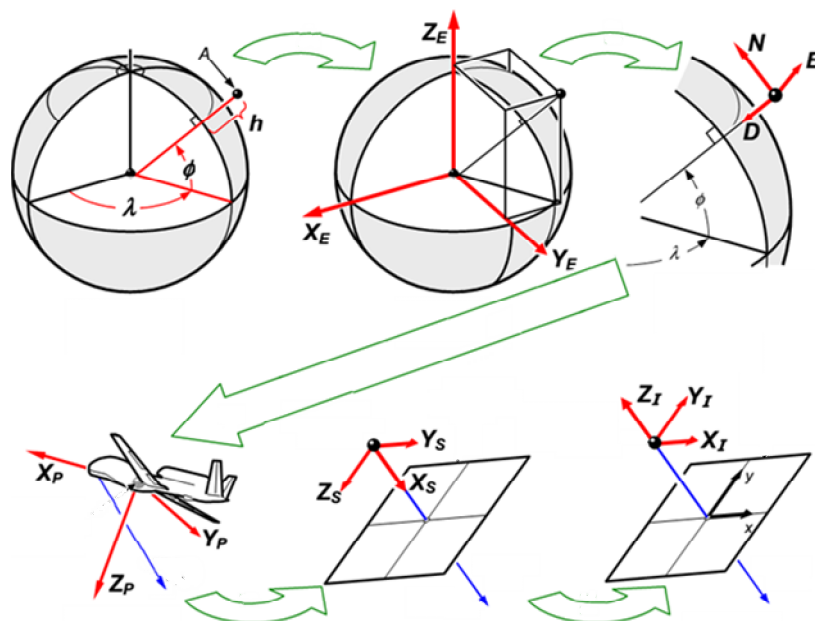


Рис. 1. Візуалізація основних етапів процедури перерахунку піксельних координат простого об'єкта ПР на цифровому знімку в геодезичні координати WGS 84

На наступному етапі просторова прямокутна система координат літального апарату перетворю-

ється в систему координат NED (North-East-Down) відповідно до такого виразу:

$$\begin{bmatrix} n_{uav} \\ e_{uav} \\ d_{uav} \end{bmatrix}_A = M_E^{LE} \left(\begin{bmatrix} X_E \\ Y_E \\ Z_E \end{bmatrix} - A_E \right) = \begin{bmatrix} -\sin \phi_A & 0 & \cos \phi_A \\ 0 & 1 & 0 \\ -\cos \phi_A & 0 & -\sin \phi_A \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} \cos \lambda_A & \sin \lambda_A & 0 \\ -\sin \lambda_A & \cos \lambda_A & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} X_E \\ Y_E \\ Z_E \end{bmatrix} - \begin{bmatrix} X_{EA} \\ Y_{EA} \\ Z_{EA} \end{bmatrix}, \quad (3)$$

де M_E^{LE} – матриця повороту з просторової прямокутної системи координат у локальну NED систему координат, A_E – вектор координат точки A в просторовій прямокутній системі координат, ϕ_A та λ_A –

геодезичні координати точки A . На третьому етапі здійснюється перерахунок з системи координат NED в систему координат платформи літального апарату відповідно до такого виразу:

$$\begin{bmatrix} X_P \\ Y_P \\ Z_P \end{bmatrix}_A = M_{LA}^P \begin{bmatrix} n_{uav} \\ e_{uav} \\ d_{uav} \end{bmatrix}_A = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & \cos \phi_P & \sin \phi_P \\ 0 & -\sin \phi_P & \cos \phi_P \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} \cos \theta_P & 0 & -\sin \theta_P \\ 0 & 1 & 0 \\ \sin \theta_P & 0 & \cos \theta_P \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} \cos \psi_P & \sin \psi_P & 0 \\ -\sin \psi_P & \cos \psi_P & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} n_{uav} \\ e_{uav} \\ d_{uav} \end{bmatrix}_A, \quad (4)$$

де M_{LA}^P – матриця повороту з NED системи координат у в систему координат платформи літального апарату, ϕ_P, θ_P, ψ_P – крен, тангаж, курс платформи літального апарату відповідно.

На четвертому етапі здійснюється перехід від системи координат платформи літального апарату до системи координат оптико-електронного обладнання літального апарату відповідно до такого виразу

$$\begin{bmatrix} X_S \\ Y_S \\ Z_S \end{bmatrix} = M_P^S \left(\begin{bmatrix} X_P \\ Y_P \\ Z_P \end{bmatrix}_A - \begin{bmatrix} \Delta_X \\ \Delta_Y \\ \Delta_Z \end{bmatrix} \right) \quad (5)$$

де $\Delta_X, \Delta_Y, \Delta_Z$ – різниця між координатами прийомного пристрою систем позиціонування (IMU/GPS) та оптико-електронного обладнання в системі координат літального апарату, M_P^S – матриця повороту.

В залежності від виду підвісу оптико-електронного обладнання (рис. 2) матриця повороту на п'ятому етапі M_P^S приймає вигляд для підвісу типу (а) відповідно до виразу

$$M_P^S = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & \cos \phi_s & \sin \phi_s \\ 0 & -\sin \phi_s & \cos \phi_s \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} \cos \theta_s & 0 & -\sin \theta_s \\ 0 & 1 & 0 \\ \sin \theta_s & 0 & \cos \theta_s \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} \cos \psi_s & \sin \psi_s & 0 \\ -\sin \psi_s & \cos \psi_s & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}, \quad (6)$$

для підвісу типу (б) відповідно до виразу [5]:

$$M_P^S = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & \cos \psi_s & \sin \psi_s \\ 0 & -\sin \psi_s & \cos \psi_s \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} \cos \theta_s & 0 & -\sin \theta_s \\ 0 & 1 & 0 \\ \sin \theta_s & 0 & \cos \theta_s \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} \cos \phi_s & -\sin \phi_s & 0 \\ \sin \phi_s & \cos \phi_s & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} 0 & 0 & 1 \\ 0 & 1 & 0 \\ -1 & 0 & 0 \end{bmatrix}, \quad (7)$$

де ϕ_s, θ_s, ψ_s – кути поворотів (1), (2), (3) підвісу оптико-електронного літального апарату відповідно.

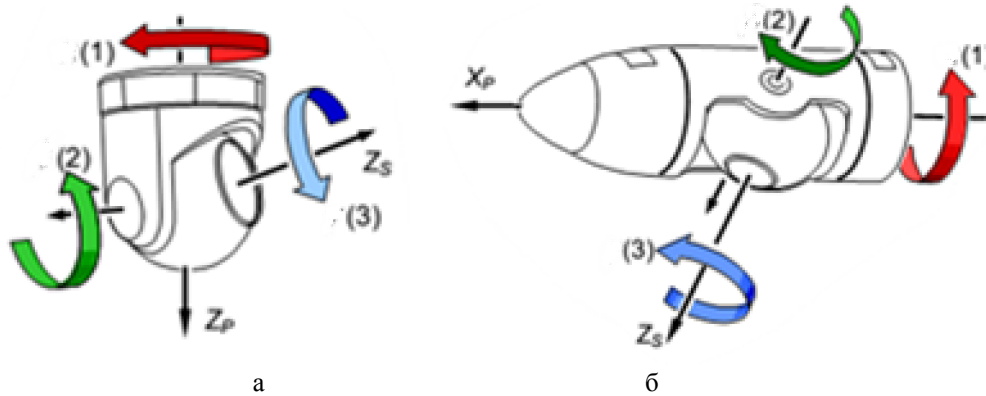


Рис. 2. Види підвісу оптико-електронного літального апарату

На шостому етапі здійснюється перехід від системи координат оптико-електронного обладнання літального апарату до системи координат кадру відповідно до виразу

$$\begin{bmatrix} X_I \\ Y_I \\ Z_I \end{bmatrix} = M_S^I \begin{bmatrix} X_S \\ Y_S \\ Z_S \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & -1 \\ -1 & 0 & 0 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} X_S \\ Y_S \\ Z_S \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & \cos 90^\circ & -\sin 90^\circ \\ 0 & \sin 90^\circ & \cos 90^\circ \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} \cos 90^\circ & \sin 90^\circ & 0 \\ -\sin 90^\circ & \cos 90^\circ & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} X_S \\ Y_S \\ Z_S \end{bmatrix}. \quad (8)$$

де X_I, Y_I, Z_I – координати центра кадру в системі координат оптико-електронного обладнання літального апарату.

На сьомому етапі координати центра кадру в системі координат оптико-електронного обладнання літального апарату знаходяться за виразом

$$\begin{bmatrix} X_I \\ Y_I \\ Z_I \end{bmatrix} = M_S^I \cdot M_P^S \left(M_{LA}^P \cdot M_E^{LA} \left(\begin{bmatrix} X_E \\ Y_E \\ Z_E \end{bmatrix} - A_E \right) - \begin{bmatrix} \Delta_X \\ \Delta_Y \\ \Delta_Z \end{bmatrix} \right). \quad (9)$$

Виразивши змінні X_E, Y_E, Z_E з використанням виразу (9) отримуються координати центра кадру в просторовій прямокутній системі координати відповідно до виразу

$$\begin{bmatrix} X_E \\ Y_E \\ Z_E \end{bmatrix} = M_E^{L_A T} \cdot M_{L_A}^P T \times \left(M_P^{S T} \cdot M_S^{I T} \cdot \begin{bmatrix} X_I \\ Y_I \\ Z_I \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \Delta_X \\ \Delta_Y \\ \Delta_Z \end{bmatrix} \right) + A_E. \quad (10)$$

Координати X_E, Y_E, Z_E можуть бути переведені в геодезичні, для цього достатньо відповідно до виразу (1) виразити змінні h, ϕ, λ – геодезичні координати центра кадру.

Якщо об'єкт знаходиться не в центрі кадру, то застосовуються перетворення описані в стандарті [6].

Висновки

Таким чином отримані координати центру об'єкта в кадрі $X_{px}^{class}, Y_{px}^{class}$ за результатами його виявлення та класифікації на цифрову аерофотознімку, наприклад з використанням згорткових нейронних мереж, можуть бути перераховані у геодезичні координати WGS 84 або просторові прямокутні координати для видачі споживачу даних повітряної розвідки.

Безпосередньо визначені основні етапи перерахунку піксельних координат простого об'єкта повітряної розвідки на цифровому аерофотознімку в геодезичні координати є основою для розробки відповідної процедури з для подальшою автоматизацією даного процесу.

РАЗРАБОТКА ПРЕДЛОЖЕНИЙ ПО ПЕРЕРАСЧЕТУ ПИКСЕЛЬНЫХ КООРДИНАТ ПРОСТОГО ОБЪЕКТА ВОЗДУШНОЙ РАЗВЕДКИ НА ЦИФРОВОМ АЭРОФОТОСНИМКЕ В ГЕОДЕЗИЧЕСКИЕ КООРДИНАТЫ

С.А. Олизаренко, О.Ю. Лавров

В статье с целью определения местонахождения (координат) простых объектов воздушной разведки при их выявлении и классификации на цифровом аэрофотоснимке разработаны предложения по перерасчету пиксельных координат простого объекта на снимке в геодезические координаты WGS 84.

Ключевые слова: простой объект, воздушная разведка, выявление, классификация, пиксельные координаты, геодезические координаты, цифровой аэрофотоснимок.

DEVELOPMENT OF PROPOSALS FOR RECALCULATION OF PIXEL COORDINATES OF A SIMPLE OBJECT AERIAL RECONNAISSANCE ON DIGITAL AERIAL IMAGES IN GEODETIC COORDINATES

S.A. Olizarenko, O.Yu. Lavrov

In the article in order to determine the location (coordinates) of simple objects of aerial reconnaissance during their identification and classification on a digital aerial photograph developed proposals for transfer is a simple pixel coordinates of the object in the picture in geodetic coordinates WGS 84.

Keywords: simple object, aerial reconnaissance, identification, classification, pixel coordinates, geodetic coordinates, digital aerial images.

Список літератури

1. *Война : первые уроки // DEFENSE EXPRESS – 2014. – № 12. – С. 10-11.*
2. *SENSRB: SENSRB Conversion Tool Version: 2.1.4 [Електронний ресурс] // Reference Library for NITFS User Documents, Software, Imagery, and Tools – 2013. – Режим доступу: <http://www.gwg.nga.mil/ntb/baseline/software/downloads/SENSRB%20V2.1.4%20Delivery.zip>.*
3. *STDI-0002, National Imagery and Mapping Agency, "The Compendium of Controlled Extensions (CE) for the National Imagery Transmission Format (NITF)", SENSRB Support Data Extension.*
4. *Шаульський Д.В. Конспект лекцій з дисципліни «ГЕОДЕЗІЯ» (для студентів 3 курсу заочної форми навчання, напряму підготовки 6.080101 Геодезія, картографія та землеустрії) / Д.В. Шаульський. – Х.: ХНУМГ імені О.М. Бекетова, 2015. – 35 с.*
5. *General Electro-Optical (Visible, Infrared, Multi- and Hyperspectral) Sensor Parameters (SENSRB) Tagged Record Extension (TRE) APPENDIX Z VERSION 1.0 [Електронний ресурс] // The Compendium of Controlled Extensions (CE) for the National Imagery Transmission Format (NITF) – 2010. – Режим доступу до ресурсу: http://www.gwg.nga.mil/ntb/baseline/docs/stdi0002/stdi0002_v30/App_Z.pdf.*
6. *Frame Sensor Model Metadata Profile Supporting Precise Geopositioning Version 2.1 [Електронний ресурс] NGA STANDARDIZATION DOCUMENT – 2011. – Режим доступу до ресурсу: http://www.gwg.nga.mil/documents/csmwg/documents/Frame_Formulation_Paper_Version_2.1_July2011.pdf.*

Надійшла до редколегії 13.08.2016

Рецензент: д-р техн. наук, проф. О.І. Тимочко, Харківський національний університет Повітряних Сил ім. Івана Кожедуба, Харків.

УДК 551.510.42

О.М. Сальніков, О.Ю. Іохов, В.Т. Оленченко

Національна академія Національної гвардії України. Харків

ПРОБЛЕМИ ВИКОРИСТАННЯ ВІДКРИТОГО ПРОГРАМНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ У ВІДОМЧІЙ ІНФОРМАЦІЙНО-ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЙНІЙ МЕРЕЖІ НГУ

Розглянута структура інформаційно-телекомунікаційної мережі НГУ, її склад та можливість використання операційних систем та іншого програмного забезпечення, побудованих на відкритих платформах, на всіх її рівнях.

Ключові слова: інформаційно-телекомунікаційна мережа, операційна система, відкрите програмне забезпечення.

Вступ

Постановка проблеми. За роки незалежності України у таких правоохоронних структурах, як внутрішні війська МВС України і Національна гвардія України (1991-1999 роки) були створені інформаційно-телекомунікаційні мережі (ІТМ), які після реформування Національної гвардії України та внутрішніх військ МВС України були об'єднані у єдину мережу внутрішніх військ МВС України. Ця ІТМ використовується і у створеній у 2014 році на базі внутрішніх військ МВС України Національній гвардії України. Бурхливий розвиток інформаційних та телекомунікаційних технологій призвів до значної застарілості обладнання та програмного забезпечення ІТМ НГУ. Для подолання цього відставання від сучасного рівня розвитку інформаційних технологій необхідна реорганізація всієї системи, оновлення всіх видів її забезпечення, у тому числі технічного і програмного (рис. 1) [1]. Звісно, це потребує великих коштів, тому актуальною є проблема економії цих коштів в умовах реального стану в фінансуванні

державних установ. Відомо, що сучасне програмне забезпечення коштує великих грошей. Наприклад, сучасна популярна операційна система Microsoft Windows 10 коштує 3500-5000 грн., а популярний офісний пакет Microsoft Office 2016 – близько 6000 грн. У масштабах всієї НГУ це складається у велику суму грошей.

Приблизно таких же грошей коштують графічні редактори, програми для сканування та розпізнавання паперових документів, тощо.

У той же час існує безліч програмного забезпечення, розробленого на програмних платформах з відкритим кодом, які розповсюджуються безкоштовно. Тому питання дослідження проблем можливості переходу на безкоштовне програмне забезпечення на всіх рівнях ІТМ НГУ є важливим та актуальним.

Аналіз останніх досліджень та публікацій. На протязі останніх майже двадцяти років в Україні було розроблено і прийнято декілька документів, які регламентують створення та розвиток інформаційних та комп'ютерних мереж. Ці документи стосуються як всієї державної системи [2-7], так і збройних сил і сил охорони правопорядку [1, 8-10]. На базі цих документів проводяться дослідження і розробляються концепції створення та розвитку інформаційно-телекомунікаційних мереж МВС України, Збройних сил України, державної прикордонної служби України та Національної гвардії України. Аналіз всіх цих документів свідчить, що у кожному відомстві розробляється своя система, але вони повинні взаємодіяти між собою, крім того всі вони будуються за подібними принципами з урахуванням специфіки того чи іншого відомства. Всі ці ІТМ мають у своєму складі засоби зв'язку, комутаційне обладнання і локальні комп'ютерні мережі. Для роботи у цих комп'ютерних мережах використовуються автоматизовані інформаційні системи різних рівнів управління [12].



Рис. 1. Структура типової інформаційної системи

Відповідно на тактичному, оперативному та стратегічному рівні можуть використовуватись АІС класу «1», класу «2» і класу «3».

АІС класу «1» - одномашинний однокористувачський комплекс, який обробляє інформацію однієї або декількох ступенів обмеження доступу.

АІС класу «2» - локалізований багатомашинний розрахований на багато користувачів комплекс, який обробляє інформацію різних ступенів обмеження доступу.

АІС класу «3» - розподілений багатомашинний розрахований на багато користувачів комплекс, який обробляє інформацію різних ступенів обмеження доступу.

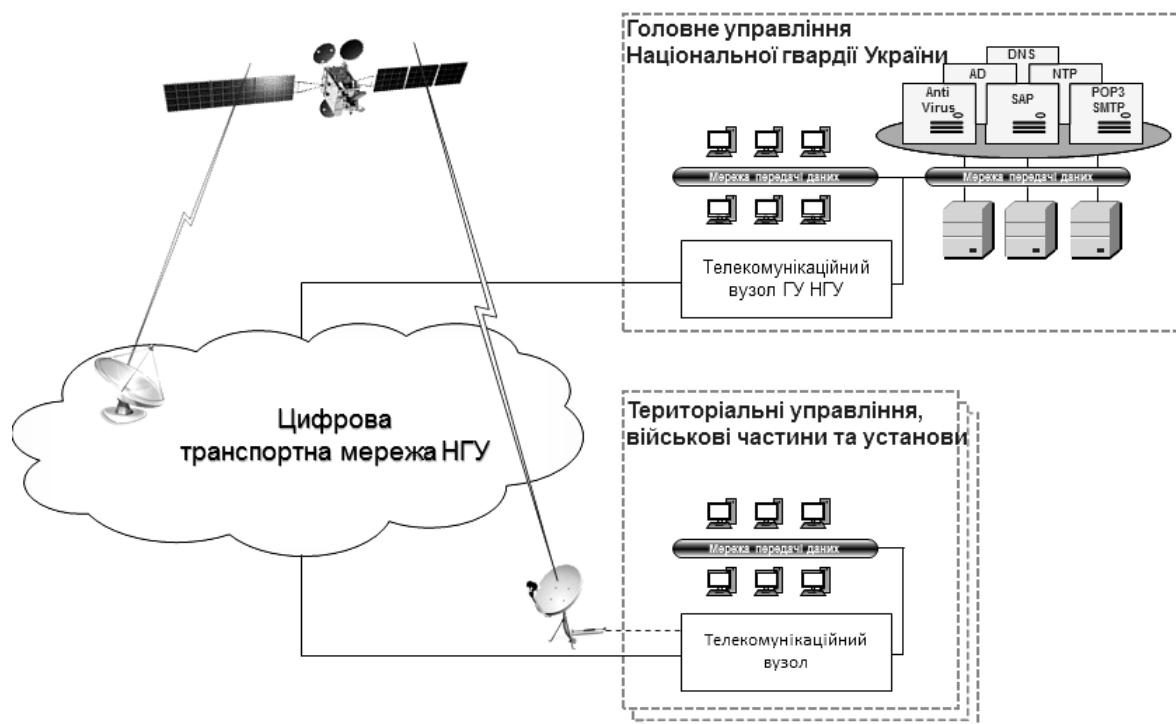


Рис. 2. Корпоративна телекомунікаційна мережа Національної гвардії України

Intranet – це внутрішня комп'ютерна мережа організації, що працює за Інтернет-протоколом TCP/IP. Складовими частинами Intranet є Web-сервери для статичної або динамічної публікації інформації і браузері для перегляду та інтерпретації гіпертексту. Також у intranet працюють протоколи SMTP (електронна пошта), і FTP (передача файлів).

Екстранет (англ. Extranet) – це захищена від несанкціонованого доступу корпоративна мережа, що використовує Інтернет-технології для внутрішньо-корпоративних цілей, а також для надання частини корпоративної інформації та корпоративних додатків діловим партнерам компанії. Технології та інструментальні засоби, що використовуються для створення Екстранету, в принципі, такі ж як і у Інtranет.

Програмне забезпечення корпоративної комп'ютерної мережі визначається завданнями які

Отже відомчу ІТМ НГУ можна розглядати як корпоративну комп'ютерну мережу, яка складається із сукупності локальних комп'ютерних мереж на різних рівнях управління з можливістю виходу в Internet. Перспективна корпоративна телекомунікаційна мережа Національної гвардії України показана на рис. 2. Як бачимо, це сукупність локальних комп'ютерних мереж і віддалених користувачів з обмеженим доступом до Internet. Вони підключені до головного управління Національної гвардії України, який крім управління роботою всієї системи, надає можливість виходу в Internet. Локальні мережі будуються за технологією Intranet, а мережа центрального офісу – за технологією Extranet [13].

виконує корпорація і складається з серверного програмного забезпечення і програмного забезпечення для автоматизованих робочих місць (АРМ) керівників і фахівців [12].

У комп'ютерній мережі НГУ, яка існує зараз, у якості серверних операційних систем (ОС) найчастіше використовуються ОС Unix та ОС Windows NT. Програмне забезпечення АРМ базується на ОС сімейства Windows. Все інше програмне забезпечення як загального, так і спеціального призначення розроблено для роботи саме з цією ОС. Однак, як було вказано раніше, це програмне забезпечення потребує великих коштів.

Метою статті є визначення можливостей та шляхів використання у інформаційно-телекомунікаційній мережі НГУ безкоштовного програмного забезпечення, створеного на базі відкритих програмних платформ.

Виклад основного матеріалу

На сьогоднішній день найбільш популярною відкритою ОС є ОС сімейства Linux. Отже саме цю систему можна пропонувати для використання у ІТМ НГУ, як альтернативу Windows. Linux створений на базі відомої серверної ОС Unix і тому вони не конфліктують. Крім того існують спеціальні дистрибутиви ОС Linux для серверів.

Можна виділити як мінімум 6 переваг ОС Linux у порівнянні з Windows: *безкоштовність; надійність; безпека; швидкодія; зручність; різноманітність програмного забезпечення.*

Розглянемо їх більш ретельно:

1. **Безкоштовність.** практично усі дистрибутиви Linux й програмне забезпечення до них розповсюджуються безкоштовно. Крім безкоштовних версій існує ряд платних дистрибутивів і програм, якими, як правило, користуються великі компанії і організації – вони призначені для виконання певних специфічних завдань. Для порівняння, всі версії OS Windows і більшість додатків до них платні і коштують ліцензії на них чималих грошей.

2. **Надійність.** Дистрибутиви Linux відрізняються високою НАДІЙНІСТЮ. При виникненні яких-небудь помилок у роботі комп'ютера часто необхідно перевстановлювати операційну систему, а це може зайняти багато часу. Крім того, необхідно також перевстановлювати всі необхідні програми. В Linux такої проблеми не буває. Дистрибутиви Linux влаштовані так, що можуть працювати без перевстановлення до 10 років і при цьому зависань і помилок у них не буває. Якщо ж раптом потрібно перевстановити систему, то всі налаштування програм, шпалери, файли і папки на робочому столі залишаться недоторканими, тому що вони зберігаються на окремому розділі (/home). Можливий і такий випадок, коли користувач випадково видаляє якийсь важливий системний файл, після чого Windows не запускається і потрібно знов перевстановлювати систему. Linux не дозволить видалити або відредувати важливий системний файл просто так. Система перед цим обов'язково попросить ввести пароль, який вказується під час установки ОС.

3. **Безпека.** Linux на відміну від Windows не сприйнятливий до вірусів. Немає жодного вірусу для нього, чого не можна сказати про Windows, для якої на сьогоднішній день хакерами з усього світу написано таку кількість шкідливого програмного забезпечення, що уявити навіть страшно. Ціна Антивіруса Касперського – 120 \$. ВІДСУТНІСТЬ ВІРУСІВ – це ще одна перевага Linux.

4. **Швидкодія.** Важливою особливістю операційних систем сімейства Linux є їх ШВИДКОДІЯ. Linux має величезну кількість налаштувань, які дозволяють відключати непотрібні компоненти, що в

свою чергу дає можливість запускати операційну систему на обладнанні з невеликою продуктивністю. ОС Windows навпаки дуже вимоглива до апаратного забезпечення.

5. **Зручність.** Користуватися ОС Linux дуже ЗРУЧНО, призначений для користувача інтерфейс системи вельми доброзичливий і інтуїтивно зрозумілий. Все, що відображається на екрані комп'ютера це робоче середовище GNOME. Фактично GNOME є графічною оболонкою системи, але на відміну від операційної системи Windows, для Linux існують декілька таких оболонок (наприклад, KDE, Xfce і інші). Користувач сам обирає якою оболонкою користуватись. Ще однією зручною особливістю Linux (це стосується всіх дистрибутивів) є простота встановлення програмного забезпечення. Всі програми в ній встановлюються через «Центр додатків» (У головному меню) за допомогою натискання однієї єдиної кнопки «Встановити». При цьому система сама встановить чи закачає необхідні кодеки і драйвери.

6. **Різноманітність програмного забезпечення.** Linux має велику різноманітність безкоштовного програмного забезпечення. Всі програми в Linux встановлюються одним натисканням клавіші, головне, щоб був доступ до мережі Інтернет або диск з програмним забезпеченням. Практично для будь-якої програми Windows в Linux є аналогічний додаток (а то й кілька). Крім того, існує спеціальна програма-емулятор Wine, яка дозволяє використовувати додатки, створені для Windows, на комп'ютері з ОС Linux.

Як приклад можна навести декілька програм – аналогів програм для Windows:

LibreOffice — вільний та крос-платформовий офісний пакет. LibreOffice працює на операційних системах Microsoft Windows, Gnu/Linux та Mac OS X і є одним з провідних вільних аналогів Microsoft Office. Основним форматом файлу LibreOffice є відкритий формат офісних документів Open Document, версія 1.1 який був затверджений як міжнародний стандарт ISO/IEC 26300:2006/Amd 1:2012; окрім того, LibreOffice підтримує формати Microsoft Office та інших офісних пакетів для досягнення максимальної сумісності. До складу LibreOffice входять: текстовий редактор **LibreOffice Writer** (аналог Microsoft Word); **LibreOffice Calc** (аналог Microsoft Excel); **LibreOffice Impress** (аналог Microsoft PowerPoint); **LibreOffice Base** (аналог Microsoft Access); **LibreOffice Draw** (аналог CorelDRAW);

ABBY FineReader Engine for Linux – це потужний набір інструментів розробника (SDK) для розпізнавання документів і конвертації PDF-файлів на платформах з відкритим вихідним кодом.

Kingsoft Presentation Free 2012 – це додаток для створення слайдів і презентацій в стилі Microsoft PowerPoint. Насправді програма сумісна з

усіма версіями програми від Microsoft і здатне відкривати, редагувати і зберігати документи у форматах .PPT, .PPTX і .DPS. Ви зможете також експортувати свої презентації у формати PDF або HTML.

Всі ці програми працюють як зі своїми форматами, так і з форматами документів, створених у додатках Windows.

На користь Linux свідчить той факт, що ця ОС використовується дуже відомими корпораціями. Наприклад:

1. **Приватбанк.** Найбільший комерційний банк України Приватбанк повністю перейшов на Linux виключно завдяки її безпеці та надійності, а також гнучкості налаштувань. В якості базової операційної системи в банку обрано дистрибутив Linux Ubuntu. На сьогоднішній день корпоративна версія системи Ubuntu Linux встановлена на більш ніж 36 500 комп'ютерах співробітників банку в чотирьох країнах світу. Ubuntu – це операційна система, яка ідеально підходить для використання на персональних комп'ютерах, ноутбуках і серверах.

2. **МВС України** (Управління боротьби з кіберзлочинністю). Робочі станції та сервери цього відомства працюють на ОС Linux.

3. **Нова пошта.** Вся IT-інфраструктура цієї компанії працює на Linux, включаючи робочі місця. Економія становить десятки мільйонів доларів на рік.

4. **Novell.** Давно і добре всім відома компанія Novell, що займається розробкою програмного забезпечення і наданням мережесервісних послуг, в 2006 році оголосила, що робить масштабну міграцію робочих станцій співробітників всієї компанії з Windows на Linux. Станом на листопад цього року, приблизно 80% робочих місць компанії Novell мігрувала на Linux. З моменту оголошення про початок міграції і до появи економічного ефекту від неї пройшло близько року.

5. **Google.** Гігантський і постійно зростаючий кластер серверів, що є серцем пошукової системи Google і її інтернет-додатків, працює на Linux. Причому - і це абсолютно типово для Google - вона не використовує програмне забезпечення «з коробки». Замість цього інженери пошукового гіганта створили спеціальну версію Ubuntu, звану всередині компанії «Goobuntu». Також Linux часто використовується всередині компанії на комп'ютерах співробітників.

6. **IBM.** Крім участі в розробці Linux, IBM використовує її всередині компанії, як на робочих станціях, так і на серверах. IBM в 2006 році також провела рекламну кампанію на телебаченні під гаслом «IBM на 100% підтримує Linux». IBM протягом останнього десятиліття залишається лідером за обсягом підтримки Linux, як з фінансових вкладів, так і щодо участі в його розробці.

7. **Cisco.** Cisco Systems, компанія-гігант в області виробництва обладнання для комп'ютерних мереж і маршрутизаторів, перейшла на Linux, незадовго до цього пообіцявши бути компанією, яка використовує тільки продукти Microsoft. Однак після невдалого збігу обставин, коли IT-персонал компанії не зміг домогтися коректної роботи принтерів в мережі Windows NT, було прийнято рішення про міграцію на Linux. До речі саме обладнання Cisco взято за основу у ІТМ НГУ.

8. **ConocoPhillips.** компанія ConocoPhillips, яка з гордістю використовує Linux на своєму величезному (в тому числі і за своєю важливістю) кластері серверів для розрахунків недосліджених родовищ нафти. На сайті News.com є стаття, що докладно описує машину для розрахунків, яка, тільки завдяки використанню Linux, «коштує вдесятеро менше аналогічного суперкомп'ютера». Алан Хаффман (Alan Huffman), менеджер центру візуалізації сейсмічної активності компанії Conoco, стверджує, що дана машина здатна виконувати 500 мільярдів операцій в секунду.

9. **Peugeot.** Широко відомий європейський автовиробник Peugeot в 2007 році оголосив, що всередині компанії встановлено близько 20 тис. Копій Novell Linux Desktop і 2,5 тис. Копій SuSe Linux Enterprise Server. Представник IT-підрозділу компанії Peugeot зауважив, що всі були приємно здивовані, протестувавши Linux і побачивши, наскільки він зручний для користувачів і якою підтримкою забезпечений.

10. **Деякі моделі Dell.** В останні роки (особливо 2007 і 2008) дружні дистрибутиви Linux, такі як Ubuntu, поступово захоплюють ту частину ринку, яка раніше належала Windows. Dell і інші виробники ПК (наприклад, HP - прим. Перекл.) Встановлювати Linux на своїх комп'ютерах.

Можна назвати ще багато компаній світового рівня, які використовують у своїй діяльності ОС Linux саме завдяки тим перевагам, які були викладені раніше. Крім того. Існує багато урядових організацій у США та західній Європі (міністерство оборони США, підводний флот США, федеральне управління цивільної авіації США, французький парламент, державний торгово-промисловий банк Китаю, тощо), які також використовують ОС Linux.

Отже перехід на Linux є цілком логічним і виправданим. Що стосується використання Linux в державних структурах – в умовах хронічної комп'ютерної неграмотності чиновників, чи вони відчують різницю між офісними додатками або стартовим меню. Але це спрацює лише за умови грамотних системних адміністраторів, які зможуть налаштувати систему, виставити призначені для користувача права і оперативно вирішувати проблеми з виникаючими неполадками і оновленнями системи.

У якості базового дистрибутива Linux для ІТМ НГУ доцільно обрати Kubuntu. Це пояснюється тим, що цей дистрибутив має графічну оболонку KDE, яка має інтерфейс робочого столу, схожий на Windows. Це спростить перехід на Linux для більшості користувачів.

Висновки

Для скорочення витрат на створення ІТМ НГУ і підвищення надійності її роботи доцільно використовувати безкоштовну операційну систему Kubuntu Linux і прикладне програмне забезпечення, яке призначене для використання під цією ОС.

Слід організувати підготовку штату системних адміністраторів, спроможних працювати на Linux. Також доцільно створити навчальні курси для пересічних користувачів по роботі з програмним забезпеченням Linux. Це доцільно зробити на базі Національної академії НГУ.

Напрямок подальших досліджень слід визначити розробку методик та рекомендацій щодо практичного впровадження програмного забезпечення Linux у ІТМ НГУ.

Список літератури

1. Про Національну гвардію України. Закон України від 13.03.2014 № 876-VII // Відомості Верховної Ради України – 2014 - N 17 – С. 594.
2. Про Національну програму інформатизації: Закон України від 04.02.1998 року N 74/98-ВР // Відомості Верховної Ради України – 1998 - N 27-28. – С.181.
3. Про захист інформації в інформаційно-телекомунікаційних системах : Закон України від 31.05.2005 № 2594-IV // Відомості Верховної Ради. - 2005. - № 26. – С. 347.
4. Про електронний цифровий підпис. Закон України від 22.05.2003 № 852-IV // Відомості Верховної Ради. - 2003. - № 36. – С. 276.
5. Про електронні документи та електронний документообіг. Закон України від 22.05.2003 № 851-IV // Відомості Верховної Ради. - 2003. - № 36. – С. 275.
6. Положення про систему електронної взаємодії органів виконавчої влади. Постанови Кабінету Міністрів України від 18.07.2012 року № 670 // Урядовий кур'єр № 134 від 28.07.2012.
7. Концепція створення та функціонування інформаційної системи електронної взаємодії державних електронних інформаційних ресурсів. Розпорядження Кабінету

Міністрів України від 05.09.2012 року № 634-р // Урядовий кур'єр № 159 від 19.09.2012.

8. Концепція Державної програми інформаційно-телекомунікаційного забезпечення правоохоронних органів, діяльність яких пов'язана з боротьбою із злочинністю. Розпорядження Кабінету Міністрів України від 19.09.2007 року № 734-р // Офіційний вісник України № 71 від 01.10.2007.

9. Положення про інформаційно-телекомунікаційну систему прикордонного контролю "Гарт-1" Державної прикордонної служби України. Наказ Голови Державної прикордонної служби України від 30.09.2008 № 810 // Офіційний вісник України № 87 від 24.11.2008.

10. Концепція інформатизації Міністерства оборони України. Наказ Міністра оборони України від 17.09.2014 № 650 [Електронний ресурс]. – Режим доступу: // http://www.mil.gov.ua/content/other/MOU650_2014.pdf.

11. Бондаренко Л.О. Перспективи розвитку системи зв'язку і автоматизації Збройних Сил [Текст] / Л.О. Бондаренко, П.П. Кисиленко, С.П. Срібний // VI-й НПС «Пріоритетні напрямки розвитку телекомунікаційних систем та мереж спеціального призначення», Київ 20 жовтня 2011 р. – К.: ВІПІ НТУУ «КІП», 2011 - С. 13.

12. Сальніков О.М. Інформаційні системи в менеджменті (частина перша). Теоретичні основи інформаційних систем в менеджменті. Формування інформаційної структури та управління інформаційними ресурсами підприємства / О.М. Сальніков, В.Т. Оленченко, В.А. Романюк. – Х.: НАНГУ, 2015 – 203 с.

13. Сальніков О.М. Інформаційні системи в менеджменті (частина друга). Характеристика сучасних напрямків розвитку інформаційних систем. Використання мережевих технологій в сучасній організації / О.М. Сальніков, В.Г. Малюк, В.С. Козлов. – Х.: НАНГУ, 2015 – 203 с.

14. Ляхов Д.А. Linux для начинающих / Д.А. Ляхов. – М.: Бестселлер, 2003 – 255 с.

15. Колесниченко Д.Н. Linux-сервер своїми руками / Д.Н. Колесниченко. – СПб.: Наука и Техника, 2002 – 576 с.

16. Linux format [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://cybervlad.net/selinux>.

17. Костюк Д.Н. Особистий досвід: Linux проти Windows 10. [Електронний ресурс] / Д.Н. Костюк. – Режим доступу: <http://today.vodafone.ua/posts/osobisty-dosvid-linux-proti-windows-10>.

18. Експеримент редакції: можна ли прожити місяць на ОС української сборки [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://ain.ua/eksperiment-redakcii-mozhno-li-prozhit-mesyac-na-operacionnoj-sisteme-ukrainskoj-sborki>.

Надано до редколегії 15.07.2016

Рецензент: д-р тех. наук, проф. О.О. Морозов, Національна академія Національної гвардії України. Харків.

ПРОБЛЕМЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ОТКРЫТОГО ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ В ВЕДОМСТВЕННОЙ ИНФОРМАЦИОННО-ТЕЛЕКОММУНИКАЦИОННОЙ СЕТИ НГУ

А.М. Сальников, А.Ю. Иохов, В.Т. Оленченко

Рассмотрены структура информационно-телекоммуникационной сети НГУ, ее состав и возможность использования операционных систем и другого программного обеспечения, построенного на открытых платформах, на всех ее уровнях.

Ключевые слова: информационно-телекоммуникационная сеть, операционная система, открытое программное обеспечение.

PROBLEMS OF OPEN SOFTWARE DEPARTMENTAL INFORMATION AND TELECOMMUNICATION NETWORK NGU

O.M. Salnikov, O.Yu. Iohov, V.T. Olenchenko

The structure of information and telecommunications network NGU, its composition and the possibility of using, operating systems and other software, built on platforms OPENING-ties, at all levels.

Keywords: information-telecommunication network, the operating system, open source software.

УДК 004.72:004.75

Ю.Д. Свистунов

Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», Харків

ПОБУДОВА КОНЦЕПТУАЛЬНОЇ МОДЕЛІ ІНТЕГРАЦІЇ ВЕБ-СЕРВІСІВ З МЕТОЮ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ГАРАНТОВАНОЇ ЯКОСТІ ОБСЛУГОВУВАННЯ

В статті обговорюються визначення показників якості веб-сервісів для оцінки та контролю якості системи підприємства побудованої за допомогою веб-сервісів. Була запропонована концептуальна модель програмної інфраструктури, що базується на функціональному резерві веб-сервісів у єдиному інформаційному просторі. Отримані результати дозволяють стверджувати, що компанії зможуть розширювати свій бізнес, розробляючи веб-сервіси та поповнюючи ними відповідні функціональні резерви реєстрів веб-сервісів, що в свою чергу приверне більше користувачів і поліпшить якість обслуговування.

Ключові слова: *Web-сервіс, SOA, показники якості, концептуальна модель, резерв web-сервісів.*

Вступ

В теперішній час успіх бізнесу сильно залежить від того, наскільки він автоматизований і як швидко компанія може запропонувати нову послугу або продукт на ринок.

Практично перед будь-яким ІТ підрозділом компанії завжди стоїть завдання безперебійного надання ІТ послуг бізнесу. Реалізація традиційних рішень для інтеграції прикладних програм - непросте завдання, що вимагає істотних капіталовкладень. Крім того, часто при впровадженні необхідно написання програмного коду. У зв'язку з цим виникла проблема розробки технологій більш швидкої і менш кошовної інтеграції додатків. SOA, або сервіс-орієнтована архітектура, передбачає розміщення сервісів в мережі в режимі виконання, тобто дозволяє автоматизувати ці ресурсномісткі процеси, завдяки чому істотно скорочуються всі витрати на інтеграцію [1].

Також, до основних передумов появи SOA можна віднести високу динаміку сучасного бізнесу і неухильно зростаючі вимоги до постійної адаптації інформаційних систем по відношенню до цієї динаміки. Уже недостатньо, щоб інформаційна система забезпечувала просту автоматизацію інформаційних і розрахункових завдань бізнесу. Необхідно прагнути того, щоб швидко мінливі умови бізнесу, що виникають внаслідок посилення конкуренції, знаходили повне відображення в інформаційній системі, тобто корпоративна інформаційна система повинна змінюватися настільки ж швидко, наскільки швидко змінюються вимоги бізнесу і бізнес-процеси компанії.

Інтеграція різнорідних і розподілених даних не в змозі вирішити всі питання управління підприємством [6, 12]. Відповідно до процесного підходу, найбільшою цінністю є не самі по собі дані, а використання інформації в тих чи інших бізнес-процесах

компанії. У найсучасніших ІС прийнято розглядати як «атомарну» одиницю не дані в «чистому» вигляді, а деякий сервіс, який відповідає якомусь елементарному бізнес-процесу. Зокрема, такий сервіс може просто видавати якісь дані, будучи аналогом «атомарної» одиниці класичних ІС.

SOA розуміється як парадигма організації та використання розподіленої безлічі функцій, які можуть контролюватися різними власниками. Базовим поняттям в такій архітектурі є «інформаційна послуга».

Інформаційна послуга (сервіс) - це атомарна прикладна функція автоматизованої системи, яка придатна для використання при розробці додатків, що реалізують прикладну логіку процесів, що автоматизуються, як в самій системі, так і для використання в додатках інших автоматизованих систем [9].

В основі сервіс-орієнтованих архітектур лежать розподілені програмні компоненти (сервіси), що надаються або використовуються незалежними сторонами. Оскільки доступ до таких компонентів не обмежений рамками організації, він повинен підтримуватися явними контрактами компонентів і загальноприйнятими стандартами. При цьому не менш важливо для користувача, щоб сервіс забезпечував не тільки необхідну функціональність, а й інші нефункціональні вимоги (швидкість роботи, безпеку та ін.). Таким чином, в даний час все більша увага приділяється політиці забезпечення якості послуг (quality of service, QoS) [11, 12]. До показників якості Web-сервісів можна віднести забезпечення необхідного рівня безпеки, надійності і відмовостійкості.

На забезпечення рівня безпеки Web-сервісів направлені численні стандарти і підтримуючі їх методи: WS Security, WS-Trust, Extensible Access Control Markup Language (XACML), Security Assertion Markup Language (SAML) та ін. [8, 13]. Наприклад, в середовищі Internet можна безпечно користуватися

послугами банків, оплачувати рахунки і здійснювати покупки.

Дослідження в областях Web-сервісів і SOA в даний час концентруються на протоколах, функціональності, транзакціях, онтологіях, композиції, семантичному Web і інтероперабельності, а надійності сервісів приділяється недостатня увага.

SOA дозволяє розробникам додатків виконувати пошук сервісів і використовувати сервіси, які надаються різними постачальниками. Традиційні методи забезпечення надійності - доказ коректності, відмовостійкість, формальна верифікація на основі моделей (model checking), тестування, оцінка та ін. - можуть підвищити рівень довіри до окремих сервісів. Однак розробники повинні переробити ці методи для забезпечення можливості їх застосування до динамічних додатків, компонованих з сервісів під час виконання.

Тому актуальною є задача розробки методів та моделей інтеграції і управління сервісами з метою забезпечення гарантованої якості обслуговування в SOA системах.

1. Показники якості веб-сервісів

Якщо розглядати основні існуючі SOA системи з точки зору управління сервісами, можна зробити висновок, що вони надають великі можливості моніторингу сервісів і оповіщення користувачів в різних ситуаціях. Однак вони не передбачають управління політиками якості сервісів, а також не дають можливості кінцевим користувачам отримувати дані про показники якості сервісів.

Основне завдання SOA - забезпечити спільне функціонування різних слабкозв'язаних додатків. Такі додатки можуть значною мірою відрізнятися як функціональністю, так і нефункціональними характеристиками (продуктивністю, надійністю, вартістю і т.д.), що повинні виконуватися протягом всього часу надання послуги.

Якість обслуговування (Quality of Service, QoS) є одним з основних критеріїв при виборі користувачем того чи іншого екземпляру сервісу. При цьому користувачі звертають однакову увагу, як на функціональні, так і нефункціональні вимоги.

В даний час існує декілька методів визначення рівня QoS, який може забезпечити екземпляр сервісу. Нижче наведено опис деяких з них.

Мова WSDL (Web Service Definition Language) є стандартним механізмом WS-Policy Framework певним консорціумом OASIS. Так само для цих цілей широко використовується UDDI (Universal Description, Discovery, Integration).

Використання WS-компонента можливо лише для новостворених сервісів. В першу чергу це пов'язано з тим, що ці компоненти необхідно вбудовувати в реалізацію самого сервісу. У той же час, вже

існує досить велика кількість сервісів, які засновані на технології SOA, але компоненти QoS не використовують. Так само, при використанні WS-компонента, залишається відкритим питання модифікації сервісу та зміни параметрів QoS, оскільки стандарт не регламентує цей процес.

Істотним питанням залишається контроль заявлених параметрів якості обслуговування, так як протягом часу ці параметри можуть змінюватися під дією різного роду факторів. Отже, може виникнути ситуація, коли користувач запитує і отримує сервіс з одними параметрами QoS, а в процесі використання сервісу ці параметри будуть змінюватися.

Кожен екземпляр сервісу публікує інформацію про себе в єдиному місці - UDDI реєстрі, використовуючи XML-документ. У цьому документі визначені мета-типи, що відображають різні аспекти функціонування даного сервісу (область призначення, власник, правила використання та різні технічні параметри (адреса, використовувані протоколи, заявлені показники QoS)). При необхідності отримання доступу до сервісу заданого типу, виконується сканування всіх сервісів, зареєстрованих в UDDI реєстрі, з метою вибору екземпляру задовольняє вимогам користувача. В даному випадку питання контролю поточних параметрів QoS на відповідність заявленим так само залишається відкритим. Існують рекомендації, згідно з якими власник сервісу повинен самостійно контролювати стан екземпляру сервісу і вносити зміни в UDDI-реєстр. Однак, дані рекомендації не знаходять практичного застосування.

Таким чином, досить важливим є завдання визначення і контролю рівня QoS, який може забезпечити заданий екземпляр сервісу. Отже, виникає необхідність розробки методів, які дозволять виконувати моніторинг стану примірників сервісів і передавати її системам мережевого управління.

Терміни і поняття в області контролю та оцінки якості саме веб-сервісів не визначені національними і міжнародними стандартами. З огляду на індустріальну спрямованість послуг, що надаються веб-сервісами за допомогою інформаційно-обчислювальних систем різного призначення, які є складовою частиною складних програмно апаратних комплексів, найбільш близькими в даній предметній області і в суміжних областях стандартизації є:

- 1) ГОСТ 27.002-89 «Надійність в техніці. Основні поняття. Терміни та визначення» [3];
- 2) ГОСТ 34.003-90 «Інформаційна технологія. Комплекс стандартів на автоматизовані системи. Автоматизовані системи. Терміни та визначення» [4];
- 3) ДСТУ ISO / МЕК 9126-93 "Інформаційна технологія. Оцінка програмної продукції. Характеристики якості і керівництва щодо їх застосування» [5];

4) Серія міжнародних стандартів ISO / IEC 25000 – Systems and software engineering. Systems and software Quality Requirements and Evaluation (SQuaRE) (Проектування систем і розробка програмного забезпечення. Вимоги до якості систем і програмного забезпечення і їх оцінка).

Також над розробкою стандартів з інформаційних систем займається глобальний консорціум OASIS (Organization for the Advancement of Structured Information Standards), що є лідером по кількості випущених стандартів, що відносяться до веб-сервісів [11].

1.1. Показники за стандартами консорціуму OASIS

Контракт сервісу охоплює як функціональні, так і не функціональні аспекти поведінки сервісного компонента. До функціональних аспектів відноситься бізнес-семантика операцій компонента, включаючи його інтерфейс і дотримуваний їм протокол. Не функціональні аспекти включають технічні особливості взаємодії, такі як серіалізація даних і протоколи QoS. Протоколи QoS містять інформацію про надання якості сервісу. Рівень якості сервісу, за стандартом OASIS, складається з чотирьох показників якості: час відгуку, максимальна пропускна здатність, доступність і надійність.

Час відгуку означає тривалість часу з моменту відправки запиту до моменту отримання відповіді. Час відгуку може змінюватися і залежить від трьох типів затримок: затримки клієнта, затримки в мережі і затримки сервера.

Затримка клієнта (ClientLatency, CL) - це час затримки, викликаний клієнтською частиною програми під час обробки запиту. Це сума часу від моменту запиту до клієнта до моменту відправки запиту на сервер (CL₁), та від моменту прийому відповіді клієнтом до моменту завершення її обробки (CL₂).

Затримка в мережі (NetworkLatency, NL) - це час, витрачений на передачу повідомлення запиту і повідомлення відповіді по мережі. Це сума часу, що проходить між подією «клієнт посилає запит» і подією «web-сервер послуг отримує запит» (NL₁), і часом, що проходить між подією «сервер відправляє відповідь» і подією «клієнт отримує відповідь» (NL₂).

Затримка сервера (ServerLatency, SL) - це час обробки запиту на сервері і формування відповіді на сервері. Це сума часу, що проходить між подією «сервер надсилає запит» і подією «web-сервіс отримує запит» (SL₁), і часу, необхідного для обробки запиту (SL₂), а також часу, який проходить між подією «web-сервіс посилає відповідь» і подією «сервер отримує відповідь» (SL₃).

Три типу затримки і час відгуку (Response Time) можуть бути розраховані за такими формулами:

$$CL = CL_1 + CL_2, \quad (1)$$

$$NL = NL_1 + NL_2, \quad (2)$$

$$SL = SL_1 + SL_2 + SL_3, \quad (3)$$

$$\text{Response Time} = CL + NL + SL. \quad (4)$$

Пропускна здатність (Maximum thorough put, MT) визначається як максимальна кількість запитів, які може обробити сервіс-провайдер за певний проміжок часу. Пропускную здатність можна обчислити за такою формулою:

$$MT = \max \left(\frac{\text{number of requests}}{\text{measured time}} \right), \quad (5)$$

де num of requests - кількість запитів оброблених сервером за проміжок часу; measured time - проміжок часу, протягом якого проводилися вимірювання.

Доступність системи (Availability) є виміром, яке визначає ступінь доступності Web-сервісу. Доступність можна виразити наступною формулою:

$$\text{Availability} = 1 - \frac{\text{down time}}{\text{measured time}}, \quad (6)$$

де down time – час, протягом якого сервіс недоступний; measured time – час, протягом якого проводилися вимірювання.

Надійність (Reliability). Надійність - це ймовірність повернення відповіді після успішного виконання запиту до Web-сервісу, яку можна визначити за такою формулою:

$$\text{Reliability} = \frac{\text{num of responses}}{\text{num of requests}}, \quad (7)$$

де num of responses – кількість відповідей від сервісу; num of requests – кількість запитів до сервісу.

1.2. Показники за стандартом ISO

Згідно стандарту ДСТУ ISO / МЕК 9126-93 якість програмного забезпечення (QoS) це весь обсяг ознак і характеристик програмної продукції, який відноситься до її здатності задовольняти встановленим або передбачуваним потребам. Стандарт визначає шість основних характеристик, які описують якість програмного забезпечення: функціональні можливості, надійність, практичність, ефективність, супровід і мобільність. Відповідно до стандарту ці характеристики можуть застосовуватися до будь-якого виду програмного забезпечення, включаючи програми і дані, що входять до програмно-технічних засобів, і утворюють основу для подальшого уточнення і опису якості програмного забезпечення. У стандарті наводяться керівництва із застосування характеристик і модель процесу оцінювання, яка відображає основні етапи, необхідні для оцінювання якості програмного забезпечення. Стандарт не визначає конкретні показники характеристик якості (ознак, що визначають властивості програмної продукції, які можуть бути віднесені до характеристик якості), методи ви-

мірування, ранжування і оцінки, і призводить тільки ілюстративну якісну модель, що визначає характеристики якості в термінах рекомендованих комплексних показників (рис. 1).

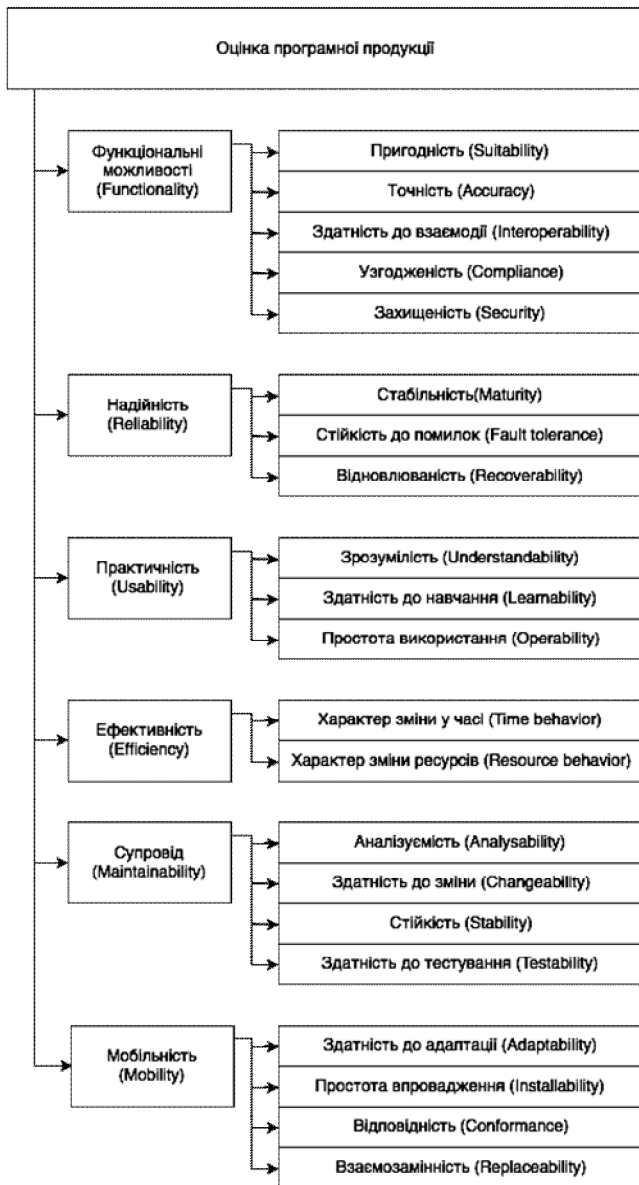


Рис. 1. Характеристики та комплексні показники якості

Крім визначення понять і термінів у сфері якості програмного забезпечення, зазначені вище стандарти допускають можливість зміни визначень, вводячи в них похідні ознаки, розкриваючи значення використовуваних в них термінів, вказуючи об'єкти, що входять в обсяг визначення поняття. У нашому випадку такими об'єктами є веб-сервіси інформаційних систем підприємств і слабкозв'язані системи, що представляють собою комбінації цих веб-сервісів.

Стосовно веб-сервісів, характеристики супроводу і мобільності важливі для провайдера веб-сервісу. Для ініціатора взаємодії корпоративних інформаційних систем важливі характеристики, пов'язані з експлуатацією веб-сервісів, - надійність і ефективність їх використання в складі слабкозв'язаних систем масштабу підприємства. Характеристика функціональних можливостей може бути використана для класифікації веб-сервісів з наданої ними необхідної функції і визначення підмножини функціонально подібних веб-сервісів (наприклад, які підтримують програму розробки і постачання SIP-компонентів). При використанні цих характеристик якості з метою опису і оцінювання веб-сервісів необхідно визначити відповідні показники, встановити рівні ранжирування і критерії оцінки для кожного підприємства або цільового застосування веб-сервісу. Метрики, рівні ранжирування і критерії оцінки повинні бути узгоджені на рівні обміну результатами оцінювання [7, 14].

2. Концепція функціонального резерву веб-сервісів

Концептуально веб-сервіси можна розділити на атомарні сервіси та складені (компонентні) сервіси. Атомарні сервіси являють собою веб-сервіси, які самостійно надають певні послуги користувачам. Атомарні сервіси є автономними і не залежать ні від будь-яких інших веб-сервісів. Складені сервіси надають послуги користувачам, викликаючи інші веб-сервіси (утворюючи композиції веб-сервісів) і/або будучи веб-сервісами корпоративних інформаційних систем.

Функціональність і інтерфейси, визначені на мові опису веб-сервісів, стають все складніше. Для ідентифікації веб-сервісів зі схожою або ідентичною функціональністю в науковій і технічній літературі запропонований ряд методів машинного самонавчання. Однак результативність і точність цих методів недостатня для застосування їх на практиці. Функціонально еквівалентні веб-сервіси, які розроблені незалежно один від одного різними виробниками можуть використовувати різні імена функцій, вхідні параметри і типи даних. Машинними методами дійсно важко розпізнати, що ці сервіси фактично забезпечують одну і ту ж функціональність. Необхідно рішення даної проблеми насамперед на концептуальному рівні опису єдиного інформаційного простору веб-сервісів, для чого повинна бути розроблена концептуальна модель, визначена на єдиному просторі імен, якої дотримуватимуться провайдери та розробники веб-сервісів (рис. 2).

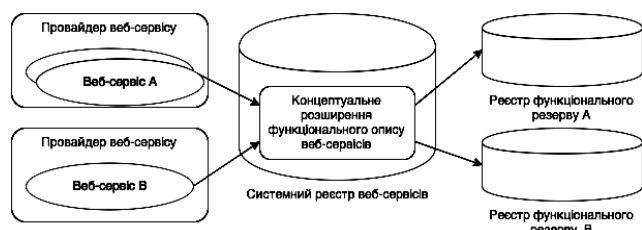


Рис. 2. Єдиний інформаційний простір веб-сервісів

Для вирішення зазначеної вище проблеми пошуку і розпізнавання ідентичних (схожих) веб-сервісів на концептуальному рівні введемо поняття функціонального резерву і визначимо загальну термінологію, якої будемо дотримуватися при розробці концептуальної моделі і опису веб-сервісів. Тоді веб-сервіси, розроблені різними виробниками, можуть бути описані в одному і тому ж інтерфейсі. Дотримуючись загальної термінології при описі веб-сервісів, можна розробити автоматизовані процедури реєстрації веб-сервісів у відповідних реєстрах функціонального резерву веб-сервісів при публікації їх розробниками в системному реєстрі веб-сервісів. Для ведення реєстру функціонально подібних веб-сервісів необхідно розширення функціонального опису веб-сервісів [10].

Концептуально розширення функціонального опису веб-сервісів є багаторівневою моделлю опису, яка встановлює відповідність між запитом на виконання необхідної функції з боку програмного додатка корпоративної інформаційної системи і безліччю функціонально подібних веб-сервісів - потенційних кандидатів на виконання запитуваної функції. Визначимо три основних концептуальних рівня: рівень предметної області, рівень єдиного інформаційного простору веб-сервісів і рівень функціонального резерву. Рівень предметної області визначимо як множину відносин R , представлену на просторі імен, зрозумілою користувачам корпоративних інформаційних систем і виражену атрибутами об'єктів предметної області. Форма подання (\mathfrak{R}) запиту рівня предметної області на виконання необхідної функції $P(A)$, де A - множина аргументів функції, в термінах відносин предметної області може бути записана в такому вигляді:

$$P(A) = \mathfrak{R} \left(\bigcap_i R_i(A_i), \bigcap_k C_k \right), \quad (8)$$

де R_i - відношення рівня предметної області; A_i - набір атрибутів; C_k - умова виду: $C_k = \langle a_i \theta c \rangle$, де a_i - атрибут відношення R_i , c - константа, а $\theta \in \{=, \neq, <, >, \leq, \geq\}$.

Рівень єдиного інформаційного простору веб-сервісів являє собою опис усіх функціональних резервів $\forall F: F \subseteq U_w$, кожен з яких представлений унікальним іменем потрібної функції F в єдиному просторі імен веб-сервісів і може бути записаним у вигляді:

$$R_i(a_1, \dots, a_n) = \mathfrak{R} \left(\bigcap_j \psi_j(x_{j1}, \dots, x_{jm}), \bigcap_k C_k \right), \quad (9)$$

де a_i - атрибут відношення R_i , x_j - формальні параметри відповідної функції ψ_j ; C_k - умова виду: $C_k = \langle a_i \theta c \rangle$, де c - константа, а $\theta \in \{=, \neq, <, >, \leq, \geq\}$. Це означає, що для отримання відношень R_i потрібно викликати веб-сервіси, що виконують відповідні

функції ψ_j . При цьому відношення, що знаходяться у різних предметних областях можуть бути визначені в одному і тому ж формальному просторі імен функцій, склад яких може змінюватись при необхідності визначення нових відношень для існуючої або нової предметної області.

Рівень функціонального резерву призначений для опису реально виконуваних функцій кожним функціонально подібним веб-сервісом, що входять до його складу. Функціональним резервом будемо називати множину функціонально подібних веб-сервісів F , де $\forall F: F \subseteq U_w$, що задовольняють формальний опис даної предметної області.

$$F = (I_1, I_2, \dots, I_n, \Lambda); \quad I_i = (\Psi_i, \Upsilon_i, P_i), i = \overline{1, n}, \quad (10)$$

де I_i - екземпляр веб-сервісу, що входить до складу функціонального резерву, який представлений у вигляді направлено ациклічного графа;

$\Psi_i = \{\psi_{ij} \mid 1 \leq j \leq m\}$ - набір функцій, що надаються i -м екземпляром функціонально подібного веб-сервіса;

P_i - необхідна функція, що надається i -м екземпляром веб-сервіса (корньовий елемент графа функцій - точка входу, за допомогою якої можна отримати доступ до функцій i -го екземпляру);

$\Upsilon_i = \{\gamma_{ij} \mid 1 \leq j \leq l\}$ - відображає залежності між функціями всередині i -го екземпляру веб-сервісу, всередині одного графу;

$\Lambda = \{\lambda_{ij} \mid 1 \leq i \leq n \wedge 1 \leq j \leq n \wedge i \neq j\}$ - показує залежності між двома некорньовими функціями, що надаються різними екземплярами веб-сервісів.

Залежності між двома функціями одного і того ж веб-сервісу визначають послідовність, в якій вони повинні бути викликані для виконання необхідної функції одним і тим же екземпляром веб-сервісу. Залежності між функціями різних веб-сервісів визначають послідовність виклику цих функцій при виконанні необхідної функції складовим (компонентним) веб-сервісом або декількома веб-сервісами, що належать різним корпоративним інформаційним системам. Залежності між корневими елементами графів - необхідними функціями, визначають послідовність виклику веб-сервісів в складі композиції, яка являє собою план виклику веб-сервісів (ПВР).

3. Концептуальна модель програмної інфраструктури

Концептуальна модель програмної інфраструктури інтеграції веб-сервісів ілюстративно зображена на рис. 3, 4. Вона відображає загальні принципи опосередкованої взаємодії провайдерів і споживачів веб-сервісів, покладених в основу програмної інфраструктури адаптивної відмовостійкої системи організації доступу до функціонально-подібних веб-сервісів.

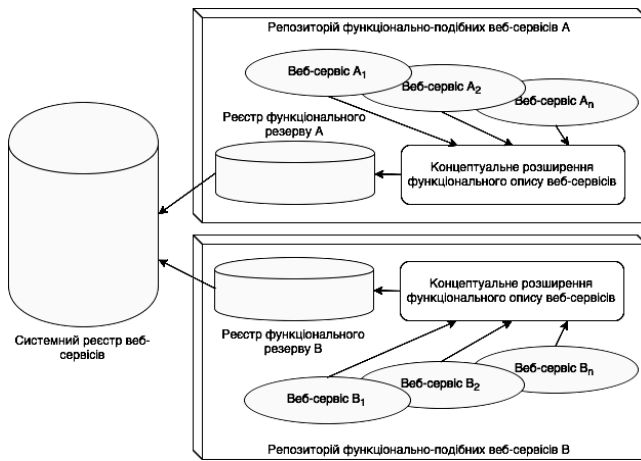


Рис. 3. Концептуальна модель програмної інфраструктури

Провайдери веб-сервісів реєструють веб-сервіси в функціональних реєстрах єдиного інформаційного простору на основі концептуального розширення функціонального опису веб-сервісів, підтримуваного тривірневою розподіленою моделлю опису веб-сервісів у просторі імен користувачів корпоративних інформаційних систем - просторі імен предметної області, просторі імен необхідних функцій - формальному просторі імен єдиного інформаційного простору в цілому, і просторі імен конкретних екземплярів функціонально подібних веб-сервісів - просторі імен внутрішніх функцій (операцій) веб-сервісу, необхідних для виконання необхідної функції. Механізми відображення просторів імен приховані від провайдерів і споживачів веб-сервісів і є частиною функціональної моделі програмної інфраструктури інтеграції веб-сервісів.

Крім реєстру кожен функціональний резерв представлений репозиторієм, які надають простір для формування пулу екземплярів веб-сервісів алгоритмами адаптивної відмовостійкої системи організації доступу до функціонально-подібних веб-сервісів.

Система організації доступу до функціонально подібних веб-сервісів визначена поверх компонентів програмної інфраструктури інтеграції веб-сервісів і концептуально являє собою стратегію відмовостійкості - сукупність методів, алгоритмів, показників і параметрів, необхідних для адаптивного динамічного управління композицією веб-сервісів.

Основними компонентами програмної інфраструктури інтеграції веб-сервісів є: інтегратор веб-сервісів, брокер веб-сервісів, координатор веб-сервісів.

Концептуально інтегратор веб-сервісів представлений розробленими типовими рішеннями проектування -динамічний селектор, монітор якості і комунікатор, що дозволяють виконувати реалізацію інтегратора веб-сервісів як у вигляді самостійного програмного компонента, так і в складі проміжного

програмного забезпечення або розроблених нових програмних додатків інформаційних систем.

Концептуальна модель програмної інфраструктури інтеграції веб-сервісів відображає типовий склад компонентів (рис. 4) і порядок їх взаємодії, не зачіпаючи деталі і засоби реалізації.

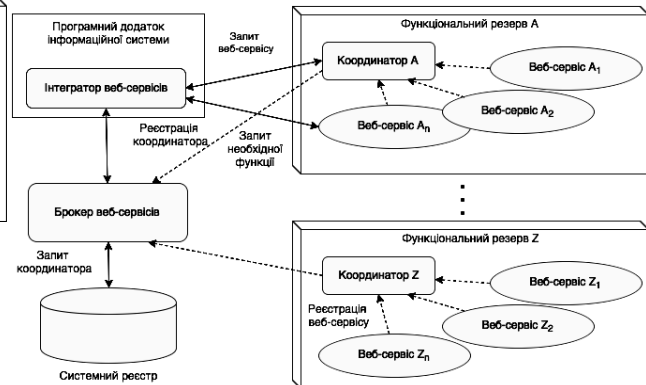


Рис. 4. Компоненти інфраструктури інтеграції веб-сервісів

У процесі функціонування інтегратор веб-сервісів отримує від брокера веб-сервісів адресу координатора функціонального резерву. Координатор формує пул примірників, що включає список адрес і значення показників QoWS функціонально подібних веб-сервісів, на підставі яких з урахуванням переваги користувачів буде визначена первісна оптимальна стратегія вибору відмовостійкої композиції веб-сервісів. Після виконання плану виклику веб-сервісів на етапі вибору відмовостійкої композиції веб-сервісів інтегратор починає локально накопичувати отримані при виклику кожного екземпляра нові значення показників QoWS, повертаючи їх час від часу координатору і використовуючи їх для динамічного коригування стратегії вибору відмовостійкої композиції веб-сервісів. Координатор же в свою чергу отримує оновлені значення показників QoWS від інтеграторів географічно розподілених користувачів, що викликають екземпляри даного функціонального резерву сервісів, поповнюючи таким чином загальнодоступні всім користувачам набори даних QoWS.

Інтегратор сервісів складається з трьох компонентів, функціонально відповідних доназв застосованих при з розробці типових рішень проектування. Динамічний селектор перебудовує план виклику веб-сервісів обраного на початковому етапі відмовостійкої композиції на основі вимог користувачів і інформації про показники QoWS. Монітор якості здійснює обчислення значень показників екземплярів, що викликаються і обмінюється ними з координатором функціонального резерву веб-сервісів, який в свою чергу надає монітору якості набори даних QoWS, отриманих від інших користувачів веб-сервісів. Комунікатор здійснює виклик екземплярів

веб-сервісів відповідно до поточної конфігурації композиції веб-сервісів.

Висновки

У даній статті знаходить своє відображення побудова концептуальної моделі інтеграції веб-сервісів задля забезпечення гарантованої якості обслуговування.

Для того, щоб зрозуміти яким чином можна зробити контроль та оцінку якості обслуговування, були розглянуті основні показники якості веб-сервісів за двома незалежними нормами: за стандартами глобального консорціуму OASIS, та за стандартом ДСТУ ISO / MEK 9126-93.

Враховуючі описані стандарти було побудовано концептуальну модель програмної інфраструктури, що базується на концепції функціонального резерву веб-сервісів.

Отримані результати дозволяють стверджувати, що компанії зможуть розширювати свій бізнес, розробляючи веб-сервіси та поповнюючи ними відповідні функціональні резерви реєстрів веб-сервісів, що в свою чергу приверне більше користувачів і розробників і поліпшить якість обслуговування.

Список літератури

1. Channabasavaiah, K. *Migrating to a service-oriented architecture* / K. Channabasavaiah, K. Holley, E.M. Tuggle. - IBM, 2004.
2. Linthicum, David. *Cloud Computing and SOA Convergence in Your Enterprise* / David Linthicum. - Boston: Addison-Wesley, 2010.
3. ГОСТ 27.002-89 *Надежность в технике. Основные понятия. Термины и определения/ официальное издание* – М.: Стандартинформ, 2010. – 33 с.
4. ГОСТ 34.003-90 *Информационная технология. Комплекс стандартов на автоматизированные системы. Автоматизированные системы. Термины и определения / официальное изд.* – М.: Стандартинформ, 2009. – 16 с.

5. ГОСТ Р ИСО/МЕК 9126-93 *Информационная технология. Оценка программной продукции. Характеристики качества и руководства по их применению / офиц. изд.* – М.: ИПК Издательство стандартов, 2004. – 12 с.

6. Биберштейн, Н. *Компас в мире сервис-ориентированной архитектуры (SOA): ценность для бизнеса, планирование и план развития предприятия* / Н. Биберштейн, С. Боуз, К. Джонс та ін. - М.: КУДИЦ-ПРЕСС, 2007.

7. Плющенко Р. *Способы решения интеграционных задач* / Р. А. Плющенко / Москва, – 2006.

8. Свистунов Ю. Д. *Методи організації взаємодії розподілених комп'ютерних систем на основі сервіс-орієнтованої архітектури* / Ю. Д. Свистунов / Системи обробки інформації: збірник наукових праць. – Харків: Харківський університет Повітряних Сил імені Івана Кожедуба, 2016. – Випуск 5 (142). – С. 142-147.

9. *Elements of Service-Oriented Analysis and Design: an interdisciplinary modeling approach for SOA project* [Електронний ресурс] / Режим доступу до ресурсу: <http://www-128.ibm.com/developerworks/library/ws-soad1>.

10. *Introduction to Service Oriented Architectures* [Електронний ресурс] /Режим доступу до ресурсу: <http://searchdatamanagement.techtarget.com/feature/Introduction-to-service-oriented-architecture-What-is-SOA>.

11. *OASISWebServicesQualityModelTC* [Електронний ресурс] / Режим доступу до ресурсу: https://www.oasis-open.org/committees/tc_home.php?wg_abbrev=wsqm

12. Кучук, Г.А. *Метод оценки характеристик АТМ-трафика* / Г.А. Кучук // Информационно-керуючі системи на залізничному транспорті. – 2003. – № 6(44). – С. 25-29.

13. Кучук, Г.А. *Информационные технологии управления интегральными потоками данных в информационно-телекоммуникационных сетях систем критического назначения* [Текст] / Г.А. Кучук. – Х.: ХУ ПС, 2013. – 264 с.

14. Кучук, Г.А. *Метод синтеза информационной структуры зв'язного фрагменту корпоративної мультисервісної мережі* / Г.А. Кучук // Збірник наукових праць Харківського університету ПС. – Х.: ХУПС, 2013. – Вип. 2. – С. 97-102.

Надійшла до редколегії 15.09.2016

Рецензент: д-р техн. наук, проф. Г.А. Кучук, Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», Харків.

ПОСТРОЕНИЕ КОНЦЕПТУАЛЬНОЙ МОДЕЛИ ИНТЕГРАЦИИ ВЕБ-СЕРВИСОВ С ЦЕЛЬЮ ОБЕСПЕЧЕНИЯ ГАРАНТИРОВАННОГО КАЧЕСТВА ОБСЛУЖИВАНИЯ

Ю.Д. Свистунов

В статье обсуждаются определения показателей качества веб-сервисов для оценки и контроля качества системы предприятия построенной на основе интеграции веб-сервисов. Была предложена концептуальная модель программной инфраструктуры, базирующейся на функциональном резерве веб-сервисов в едином информационном пространстве. Полученные результаты позволяют утверждать, что компании смогут расширять свой бизнес, разрабатывая веб-сервисы и пополняя ими соответствующие функциональные резервы реестров веб-сервисов, в свою очередь привлечет больше пользователей и разработчиков и улучшит качество обслуживания.

Ключевые слова: Web-сервис, SOA, показатели качества, концептуальная модель, резерв веб-сервисов.

BUILDING A CONCEPTUAL MODEL OF WEB SERVICES INTEGRATION IN ORDER TO PROVIDE QUALITY ASSURANCE OF SERVICES

Y.D. Svystunov

The paper describes determining of web services quality for evaluation and quality control of enterprise systems built using Web services. In this paper, a conceptual model of software infrastructure based on the functional reserve of Web services in a single information space was proposed. The obtained results allow stating that by developing of Web services and adding them to the respective functional reserves registers, companies will expand their businesses, which in turn will attract more users and developers and improve service quality.

Keywords: Web service, SOA, quality, conceptual model, web-services provision.

УДК 004.056 (043.2)

С.Г. Семенов¹, І.А. Березюк²¹ Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», Харків² Кіровоградський національний технічний університет, Кіровоград

ВІДНОВЛЕННЯ СЕМАНТИКИ СЛУЖБОВОГО ПОВІДОМЛЕННЯ В ЗАДАЧІ СТЕГНОАНАЛІЗУ

У статті запропоновано підхід щодо відновлення семантики службового повідомлення в задачі стега-ноаналізу. Відмінною особливістю даного походу є врахування ключових службових полів, що використовуються телекомунікаційними протоколами. Представлений алгоритм виявлення семантики є загальним. Розроблено алгоритм виведення семантики. Визначено складність даного алгоритму, з урахуванням наявності даних алгоритму поширення помічених даних, і результатів обчислення комірок з відомою семантикою.

Ключеві слова: стегаграфія, стегааналіз, семантика службових повідомлень.

Вступ

Постановка задачі та аналіз літератури. У сучасному суспільстві однією з найбільш важливих задач є задача інформаційного обміну. Розвиток телекомунікаційних технологій дозволяє забезпечувати різні користувальницькі послуги інформаційного обміну з певною якістю. При цьому технологічна підтримка обміну даними виконується за допомогою стандартних технологій і протоколів мережевого обміну (наприклад, TCP / IP).

Відомо, що основні службові поля, що використовуються для управління процесом передачі даних в телекомунікаційних технологіях, є текстовий набір спеціалізованих команд і семантичних кодів, розміщених певним встановленим чином. Найчастіше дані поля візуально недоступні звичайним користувачам і з точки зору міжкористувального інформаційного обміну не представляє значного інтересу.

Однак, як показали дослідження, даний вид службових повідомлень становить інтерес фахівців (легальних і злочинних користувачів) як контейнери для прихованої (стегаграфічної) передачі конфіденційних даних.

Проведений аналіз літератури [2-6] показав, що в даний час існує декілька найбільш загальних методів вбудовування повідомлень в текстові дані (в тому числі текстові службові поля телекомунікаційних протоколів). Їх можна умовно розділити на три види: синтаксичні методи, методи, що генерують текст, подібний природному, семантичні методи. Найбільш докладно ці методи описані в [2 – 6].

Проведені дослідження показали, що одним з найбільш складних, з точки зору стегааналізу, є семантичні методи, які дозволяють приховано передавати дані використовуючи в якості контейнера, в тому числі, і службові поля. Частково причиною цього є незначні зміни статистичних даних використовуваних при стегааналізі. При цьому відновлення семантики службових повідомлень є складною і актуальною науковою і технічною задачею.

Основна частина

Як правило, більшість полів в повідомленні містять дані, специфічні для протоколу і зрозуміти сенс значень цих даних можна тільки знаючи завдання, що вирішує конкретний протокол. У той же час, існує ряд типів даних, які використовують багато протоколів, що дозволяє розробити загальні підходи до пошуку полів, що містять дані цих типів. До таких даних можна віднести, наприклад, IP-адреси, імена файлів, імена серверів в мережі, номери портів, часові мітки.

Пропонований в статті підхід до відновлення семантики заснований на методі виведення семантики. Відповідно до даного підходу вводиться поняття "джерело семантики", тобто місце в програмі, в якому семантика використовуваних даних точно відома. Такими джерелами можуть бути наступні.

- спеціальні інструкції, наприклад інструкція запиту часу *RDTSC*, архітектури *x86*, результат якої - число тактів, записується в певні регістри,

- виклики функцій стандартної бібліотеки, семантика параметрів яких відома. Наприклад, функції для роботи по мережі оперують IP-адресами, а функції роботи з файловою системою - іменами файлів,

- спеціальні конструкції в *CFG* програми, наприклад умовні переходи, що переривають виконання циклу за умовою. Якщо в циклі обробляється масив і значення кожного його елемента порівнюється з константою, то поле, що містить константу, є полем роздільником, а сама константа – кінцевим символом.

Формально, для випадку аналізу бінарних трас, термін джерело семантики можна ввести, як трійку $\langle t, m, s \rangle$, де t - крок траси, а m - елемент пам'яті або регістр, s - тип семантики значення t . Так як в трасі, одно і той же джерело семантики може зустрічатися багаторазово (наприклад виклик одній і тій же функції), то для аналізу потрібне мати загальний статичний механізм опису джерел семантики.

Такий механізм можна висловити трійкою $\langle F(t), M(t), S(t) \rangle$, де F – булева функція, яка для заданого

кроку повертає істину, якщо крок є джерелом семантики. $M(t)$ – функція, що дозволяє по заданому кроці отримати елемент пам'яті або реєстр, в якому міститься значення, семантика якого відома. $S(t)$ – функція, що дозволяє по заданому кроці отримати тип семантики. Алгоритм виведення семантики в загальному вигляді може бути представлений у вигляді схеми рис. 1.

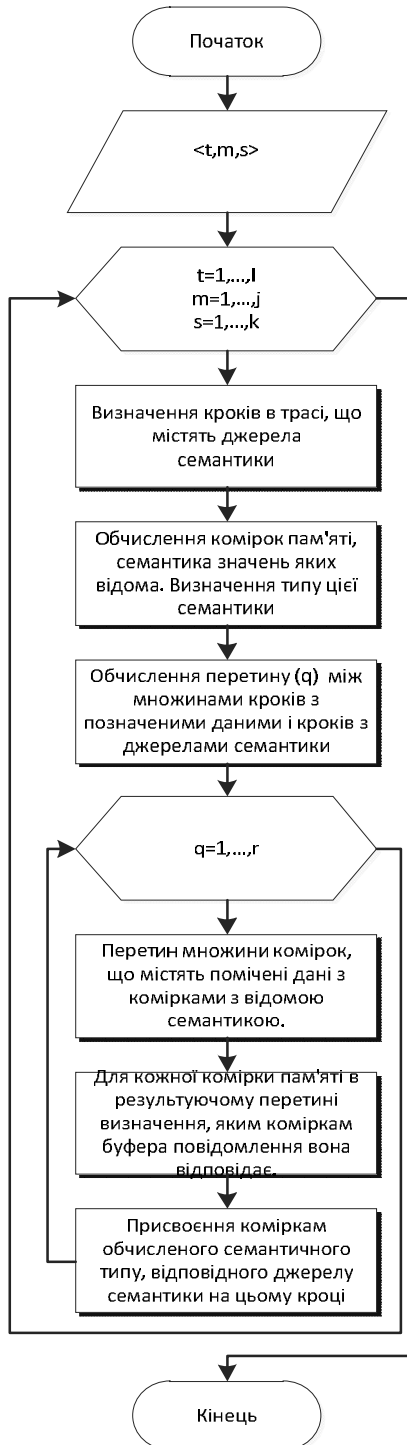


Рис. 1. Блок схема алгоритму виведення семантики

Складність алгоритму, з урахуванням наявності даних алгоритму поширення помічених даних, і результатів обчислення комірок з відомою семантикою можна оцінити як $O(N)$, N – кількість кроків в трасі.

Зупинимося докладніше на описі джерел семантики. Список можливих типів джерел був приведений вище. Опишемо докладніше, як виглядають механізми обчислення комірок і типів семантики для кожного типу джерела.

Для спеціальних інструкцій, типу RDTSC осередками з семантичними значеннями будуть вхідні або вихідні операнди цих інструкцій. Саме для RDTSC такими осередками є пара реєстрів EDX: Eax.

Для викликів функцій стандартної бібліотеки точками семантики в трасі будуть виклики цих функцій. Описи комірок з відомою семантикою будуть являти собою опис формальних параметрів, а механізм обчислення конкретних комірок для кожного виклику відповідає способу отримання фактичних параметрів виклику за формальними параметрами. Тип семантики визначається по семантиці відповідного формального параметра. Опишемо далі спеціальні конструкції в CFG, що дозволяють визначати деяких види семантики.

Значення поля довжини тим чи іншим способом задає розмір послідовності, якої це поле відповідає. Воно може містити як розмір послідовності в байтах, так і кількість елементів в послідовності. Крім того, можливо, що однією послідовності відповідає кілька полів довжини. Кількість ітерацій в послідовності, що оброблює всі пікселі обчислюється як добуток цих двох полів, тобто довжину послідовності пікселів визначають не значення цих полів окремо, а комбінація (добуток) значень цих двох полів.

У будь-якому випадку, значення поля довжини має використовуватися в умовах виходу з циклу тобто в операції порівняння на кожній ітерації циклу.

Ще одним артефактом в досліджуваному пошуку є полів роздільників. Проведені дослідження показали, що полі роздільник – це поле, що слідує відразу після деякої послідовності, а його значення інтерпретується оброблювачем, як термінальний символ, що завершує послідовність. За визначенням його значення – це деяка константа або набір констант (як, наприклад, в разі HTTP), значення яких відомо оброблювачу. Для того щоб визначити кінець послідовності, обробник порівнює кожен елемент послідовності з термінальним символом (константою).

У процесі аналізу ключових полів в повідомленні, розбірник перевіряє значення таких полів, порівнюючи їх з цим набором значень і, в залежності від результату порівнянь, здійснює подальший розбір. Таким чином, значення цього поля визначає конкретний вид і інтерпретацію деякої частини повідомлення. Пошук ключових полів визначається способом їх обробки – потрібно знайти поля, значення яких порівнюється з деяким набором констант, причому одне з порівнянь істинно, і за результатами порівняння здійснюється умовний перехід в обробнику. Пошук міток полів аналогічний пошуку ключових значень, за винятком того, що в якості шаблонів пошуку використовуються такі:

BT field, bitNum; ConditionalJump target;
та *And field, const; ConditionalJump target.*

Результатом роботи не є набори константних значень, а межі окремих груп бітків в рамках поля, які визначаються сукупністю застосовуваних до поля масок.

Проведені дослідження [1, 5] показали, що в багатьох протоколах і форматах фалів присутні поля, значення яких не можуть приймати будь-які значення, які не залежать від значень інших полів. Це означає, що деяке поле містить значення, яке є функцією від значень деякого набору інших полів. Найбільш часто використовуються поля що зберігають контрольні суми, обчислені по набору значень деяких інших (або полів) байт повідомлення. У цю ж групу можна віднести поля дублери, які зберігають однакові значення. Такі поля можуть виникати в процесі розвитку деякого протоколу або формату для забезпечення зворотної сумісності. Прикладом поля контрольної суми є поле, що зберігає значення CRC32 в файлово-му форматі ZIP, а поля дублери зустрічаються в деяких заголовках різних версій формату BMP. Інформація про пов'язані групи полів є важливою, так як цей зв'язок накладає значні обмеження на можливі значення полів всередині цих груп. При обробці пов'язаних полів розбірник, як правило, виконує перевірку коректності повідомлення. В ході цієї перевірки він обчислює значення функції по набору полів і порівнює вийшло значення зі значенням пов'язаного поля. У разі полів дублерів функція є константою, що дорівнює значенню одного з полів дублерів.

Алгоритм пошуку пов'язаних полів визначається способом їх обробки – потрібно знайти поля повідомлення, значення яких порівнюється зі значенням, яке є функцією від значень деякого набору полів. Тобто шаблон пошуку виглядає таким чином:

Compare field1, func (field2, field3, ..., fieldN)
ConditionalJump target

Висновки

Таким чином, в статті представлений похід до відновлення семантики службового повідомлення

в завданні стеганоаналізу. Відмінною особливістю даного походу є врахування ключових службових полів, що використовуються телекомунікаційними протоколами. У всіх алгоритмах, де передбачається робота з можливими значеннями, для гарантії коректності одержуваних значень потрібно знати, що на тих позиціях, де проводиться порівняння, значення комірки, яка піддається порівнянню дорівнює значенню вихідного поля повідомлення. До таких алгоритмів відносяться пошук полів роздільників, ключових полів, полів прапорів і пов'язаних полів. Вимога рівності значень означає, що всі інструкції, через які значення вихідного поля потрапило в осередок, значення якої порівнюється з константою були інструкціями копіювання. Для задоволення цієї вимоги пропонується використовувати ознака незмінності значення.

Список літератури

1. Аветисян А.И. Восстановление структуры бинарных данных по трассам программ [Электронный ресурс] / А.И. Аветисян, А.И. Гетьман // Труды Института системного программирования РАН, т. 22. – 2012. – Режим доступа: <http://cyberleninka.ru/article/n/vosstanovlenie-struktury-binarnykh-dannyh-po-trassam-programm>.
2. Коначович Г.Ф. Компьютерная стеганография / Г.Ф. Коначович, А.Ю. Пузыренко Теория и практика. — К.: МК-Пресс, 2006. — 288 с.
3. Нечта И.В. Метод стеганоанализа текстовых данных, основанный на использовании статистического анализа / И.В. Нечта // Вестник СибГУТИ. – 2011. – № 3. – С. 27-34.
4. Семенов С.Г. Протоколи захисту інформації у комп'ютерних системах та мережах / С.Г. Семенов, О.О. Кузнецов. – Х.: ХНУРЕ, 2009. – 184 с.
5. Winstein K. Tyrannosaurus lex 1999 [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://alumni.imsa.edu/~keithw/lex>.
6. Meng P., Huang L., Chen Z., Yang W., Li D. Linguistic Steganography Detection Based on Per-plexity / Электронный ресурс]: http://ieeexplore.ieee.org/xpl/freeabs_all.jsp?tp=&arnumber=5089098&isnumber=5089035

Надійшла до редколегії 14.07.2016

Рецензент: д-р техн. наук, проф. О.О. Можаєв, Національний технічний університет «ХПІ», Харків.

ВОССТАНОВЛЕНИЕ СЕМАНТИКИ СЛУЖЕБНОГО СООБЩЕНИЯ В ЗАДАЧЕ СТЕГАНОАНАЛИЗА

С.Г. Семенов, И.А. Березюк

В статье предложен подход к восстановлению семантики служебного сообщения в задаче стеганоанализа. Отличительной особенностью данного подхода является учет ключевых служебных полей, используемых телекоммуникационными протоколами. Представленный алгоритм выявления семантики является обобщением. Разработан алгоритм вывода семантики. Определена сложность данного алгоритма с учетом наличия данных алгоритма распространения помеченных данных и результатов вычисления ячеек с известной семантикой.

Ключевые слова: стеганография, стеганоанализ, семантика служебных сообщений.

RECOVERY SEMANTIC SERVICE ANNOUNCEMENT IN PROBLEMS STEGANOANALIZ

S.G. Semenov, I.A. Bereznyuk

The paper proposes an approach to restore service message semantics steganoanaliz the problem. A distinctive feature of this campaign is the consideration of the key fields of service used telecommunications protocols. Presented detection algorithm is common semantics. The algorithm output semantics. Determined complexity of the algorithm, taking into account the availability of data dissemination algorithm marked data and results of calculations cells with known semantics.

Keywords: steganography, steganoanaliz semantics service messages.

УДК 004.414.22/004.051/519.687.5

В.В. Туркіна

Національний аерокосмічний університет імені М.Є. Жуковського «ХАІ», Харків

ІМІТАЦІЙНЕ МОДЕЛЮВАННЯ РОЗРАХУНКУ ДОВІРИ ТА РЕПУТАЦІЇ В СОЦІАЛЬНІЙ МЕРЕЖІ

Розглянуто питання побудови систем визначення довіри та репутації в соціальних мережах. Обґрунтовано вибір набору даних для дослідження та інструментального засобу для аналізу і візуалізації мережевих структур. Для обраного набору даних – результатів голосування користувачів Вікіпедії за право отримання статусу адміністратора отримано основні метрики, що характеризують розподілення впливовості суб'єктів та об'єктів голосування. Виконано кластеризацію графа голосування, що дозволило знайти спільноти користувачів з виділенням репутаційних центрів.

Ключові слова: імітаційне моделювання, соціальна мережа, довіра, репутація, теорія графів.

Вступ

Соціальна мережа - платформа, онлайн-сервіс і веб-сайт, призначені для побудови, відображення і організації соціальних взаємовідносин в Інтернеті. Під соціальною мережею розуміється множина акторів (точок, вершин, агентів) які можуть вступати у взаємодію один з одним. З формальної точки зору такі мережі зручно представляти у вигляді графів і застосовувати для їх аналізу розвинені математичні моделі теорії графів [1].

Аналіз соціальних мереж (social network analysis – SNA) в англійській літературі) являє собою набір методів, що дозволяють отримувати цінну інформацію про особливості соціальних мереж по їх характеристикам. В аспекті SNA соціальні зв'язки є ребрами, що зв'язують вузли - окремих людей.

SNA має два головні завдання: визначення кількісних і якісних метрик, що дозволяють провести всебічний аналіз соціальної мережі, та візуалізація її в зручному для дослідника вигляді [2].

1. Аналіз публікацій

У всіх існуючих добровільних спільнотах для регулювання діяльності існують норми поведінки, взаємодії, спілкування і т.п., які встановлюються співтовариством і можуть динамічно змінюватися з часом при виникненні нових ситуацій. Як система санкцій при недотриманні норм використовується репутація, яка одночасно є сигналом для спільноти. Система репутації/довіри формується як засіб упорядкування взаємодії і стимулювання порядку, оскільки звичайні механізми нормативного регулювання та права не працюють [3].

Визначення термінів «довіра», «репутація» залежить від мети їх застосування і, відповідно, застосовуваної моделі. Для подальшого аналізу як основне приймемо таке визначення [4]: довіра до абонента (об'єкта) у соціальних мережах для абонента (су-

б'єкта), який приймає рішення про взаємодію, - це очікування суб'єкта, що об'єкт буде реалізовувати деякі функції, що сприяють збільшенню або збереженню ресурсів суб'єкта, і, як наслідок, готовність суб'єкта делегувати об'єкту реалізацію цих функцій. Основні властивості довіри:

- корисно тільки в невизначеній обстановці, в якій учасники повинні кооперуватися для досягнення конкретних цілей;

- пов'язане з конкретною метою і обмежене тим, наскільки можливості об'єкта відповідають бажаній меті суб'єкта;

- суб'єктивно - його ступінь залежить не тільки від поведінки об'єкта, але і від сприйняття суб'єктом цієї поведінки.

- не обов'язково рефлексивно і транзитивно, хоча довіра до об'єкту інших суб'єктів може виявитися вирішальним фактором при першому виборі цього об'єкта.

Якщо суб'єкту недостатньо власної інформації для прийняття рішення про взаємодію з об'єктом, то повинна використовуватися кількісна міра репутації. Під репутацією об'єкта будемо розуміти розгорнутий комплекс оціночних уявлень про нього інших об'єктів, сформований на основі об'єктивних параметрів (рис. 1). Крім соціальних мереж [5] питання довіри і репутації розглядаються стосовно:

- пошукових і рекомендаційних Web-систем;
- Grid-систем;
- систем електронної торгівлі (eBay, Epinions, Bizrate, Trustpilot);
- співтовариств програмістів (Advogato), торгових майданчиків фрілансерів;
- файлобмінних (Peer To Peer - P2P) мереж;
- академічних громад, наприклад для визначення бібліометричних метрик, або H-індексу (індексу Хірша) дослідника тощо.

Системи репутації повинні аналізуватися в трьох розмірностях [6].

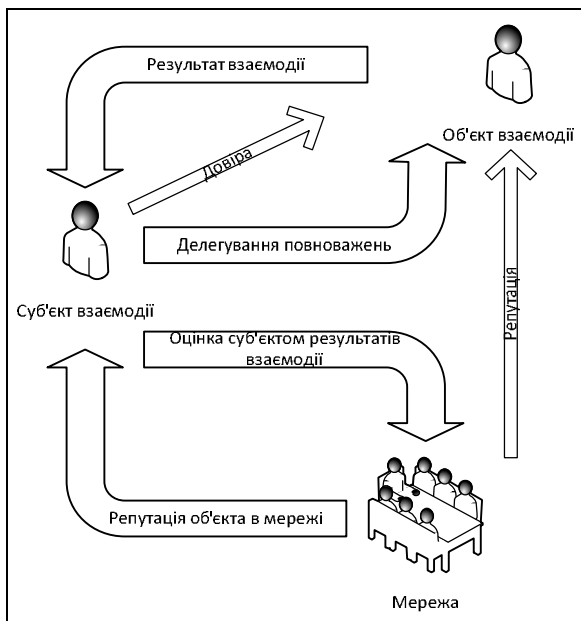


Рис. 1. Взаємозв'язок основних понять в задачах оцінки довіри і репутації в соціальних мережах

1. Розмірність «Формулювання» описує математичну модель і вихідні дані для оцінки значень репутації. Вона включає в себе два основних аспекти: міра репутації і метрична розмірність, які використовуються для сукупних оцінок.

2. Розмірність «Розрахунок» розглядає практику проектування і реалізацію алгоритмів для оцінювання репутації.

3. Розмірність «Поширення» фокусується на механізмах розподілу і зберігання оцінок і цінностей репутації серед суб'єктів в рамках системи. Головною особливістю розрахунку і поширення оцінок та цінностей є структура системи репутації, яка може бути або централізованою або децентралізованою (розподіленою), коли функції зберігання рейтингів і розрахунку репутації розподіляються між суб'єктами в рамках системи.

Централізовані системи репутації зазвичай містять також репутацію центру, який відповідає за збір оцінок рейтингів послуг від усіх попередніх споживачів послуг, а також обчислення довірчих значень якості послуг. Децентралізовані в тій чи іншій мірі використовують властивість часткової транзитивності довіри і моделюються як орієнтовані графи, в яких вузли позначають споживачів послуг, а ребра є довірчі відносини між ними [7].

Метод оцінки репутації в соціальних мережах повинен бути заснований на таких принципах [8].

1. Користувач не може мімікрувати (використовувати чужий ідентифікатор), але його ідентифікатор може бути анонімним для збереження приватності.

2. Значення репутації користувача не може бути менше значення репутації новачка (мінімальне значення), в іншому випадку при поганій репутації у нього з'явиться стимул змінити ідентифікатор.

3. Зловмисники не можуть (або для них немає стимулів) об'єднуватися і робити «порожні транзакції», позитивно оцінюючи один одного і тим самим підвищуючи власну репутацію.

4. Зловмисник не може створювати «порожні» ідентифікатори для підвищення репутації свого ідентифікатора (для цього вага оцінки повинна залежати від репутації).

5. Значення репутації обмежено зверху, в іншому випадку власник високої репутації може не піклуватися про думки інших учасників.

6. Значення репутації є суб'єктивним очікуванням і залежить від минулої діяльності агента, значення оновлюється після кожної оцінки транзакції.

7. Вводиться часове вікно для розрахунку репутації.

8. Необхідний поділ репутації на функціональну і рекомендаційну, оскільки сумлінне виконання основних функцій не гарантує чесні рекомендації щодо інших суб'єктів.

В опорній (посилальній) моделі систем репутації, запропонованій в [9], розглянуто відповідність між вимогами до систем репутації та їх функціональністю. Управління довірою виграє важливу роль в соціальних мережах для забезпечення конфіденційності та інформаційної безпеки переданих даних. Однак в даний час в літературі як і раніше відсутні комплексні дослідження управління довірою / репутацією в соціальних мережах, тому актуальним завданням є змістовний аналіз цих понять, а також основних методів їх вимірювання.

2. Інструментарій

Для виконання експерименту був обраний набір даних Wiki-Votes на сайті Стенфордського університету [10]. Дані являють собою результати голосування користувачів Вікіпедії за право отримання статусу адміністратора. Цей граф містить 8297 вершин і 103689 дуг. Вершинами графа є зареєстровані користувачі Вікіпедії, дуги – голоси, віддані одним користувачем за іншого. Як інструмент використана система аналізу і візуалізації мережевих структур Gephi, яка призначена для візуалізації та базового аналізу графів середнього розміру (до мільйона вузлів) [11]. Має багатофункціональний призначений для користувача інтерфейс і багатий набір способів візуалізації мереж (включаючи візуалізацію в реальному часі динамічних графів).

Gephi розвиває Gephi Consortium, що включає більше десятка організацій з США і Європи. Серед спонсорів проекту - Google і Oracle. Gephi написана на Java і OpenGL на основі модульної NetBeans платформи, ця програма - одна з найбільш популярних, дозволяє імпортувати дані безпосередньо з бази даних MySQL, підтримує розширення для різних алгоритмів відтворення і кластеризації, видає статистику

близькості, розвиток у часі і в 3х-мірному просторі, дозволяє оновлювати дані через API (Application Program Interface) в режимі потоку. Умови розповсюдження – Open Source (CDDL 1.0, GPL 3.0).

Архітектура системи і відкритий вихідний код передбачають додавання нових функцій за рахунок розробки плагінів.

3. Попередній аналіз графа голосування Wiki-Votes

Граф – це кортеж $G = (V, E)$, де V – множина вершин (vertices) графа G , E – множина його ребер (edges). Ступенем вершини в графі називається число інцидентних їй ребер. Для орієнтованого графа розрізняють вихідну ступінь, яка визначається як кількість ребер, що виходять з нього, і вхідну – кількість ребер, що входять. Вихідна ступінь вершини в графі голосування користувачів Вікіпедії за право отримання статусу адміністратора – це загальна кількість голосів, відданих користувачем за інших учасників, вхідна – загальна кількість голосів, відданих іншими користувачами за даного учасника (рис. 2). Розкид точок на залежності вихідної ступеня вершини в графі голосування від величини вхідної ступеня (рис. 3) свідчить про слабку залежності між активністю користувачів як виборців та як кандидатів. Для розрахунку відстаней вершин від відомого фокуса використані відомі визначення з теорії графів [12].

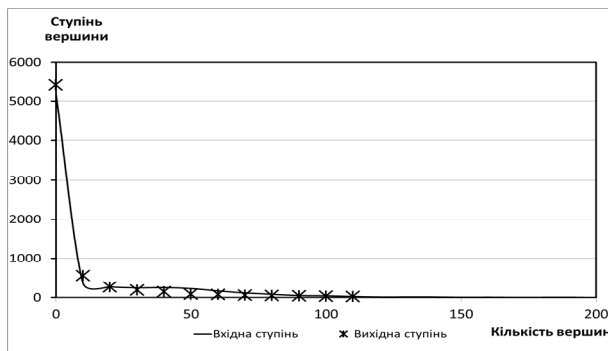


Рис. 2. Гістограма ступенів вершин графа голосування користувачів Вікіпедії за право отримання статусу адміністратора

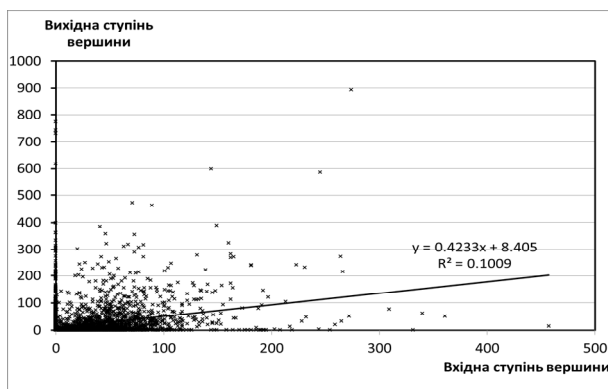


Рис. 3. Залежність вихідної ступені вершини в графі голосування від величини вхідної ступені

Відстанню між вершинами в графі називається найменша довжина, що з'єднує їх шлях. Відстань між вершинами x і y позначається $d(x,y)$. Центральність на основі ступеня $C_D(u)$ – це нормалізована кількість ребер, інцидентних даній вершині u :

$$C_D(u) = \frac{\text{deg}(u)}{n-1}, \quad (1)$$

де n – кількість всіх вершин графа.

Центральність по близькості (Closeness centrality) $C_C(u)$ оцінюється як сума найкоротших шляхів, що з'єднують дану вершину з усіма іншими вершинами (рис. 4):

$$C_C(u) = \sum_{v \in V} d(u,v) / (n-1), \quad (2)$$

де $d(u, v)$ – найкоротший шлях між вершинами u і v , що дорівнює кількості ребер в ньому.

Центральність проміжності (Betweenness centrality) $C_B(u)$ обчислюється як відношення кількості найкоротших шляхів між двома вершинами, що проходять через вершину u , до кількості всіх можливих найкоротших шляхів в графі (рис. 5):

$$C'_B(u) = \sum_{j=1}^n \sum_{k=1}^{j-1} \frac{g_{jk}(u)}{g_{jk}}, \quad (3)$$

де g_{jk} – кількість найкоротших шляхів між вершинами j і k , а $g_{jk}(u)$ – кількість найкоротших шляхів, що містять вершину u .

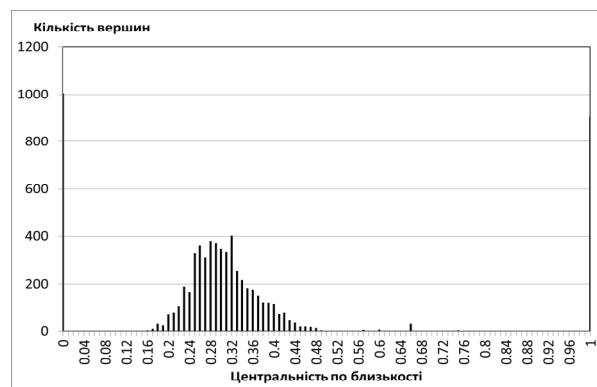


Рис. 4. Гістограма центральності по близькості вершин графа голосування користувачів Вікіпедії



Рис. 5. Гістограма нормалізованої центральності по проміжності вершин графа голосування користувачів Вікіпедії

4. Розрахунок репутації суб'єкта в соціальній мережі

Кластеризація – це процедура упорядкування об'єктів в порівняно однорідні групи. В теорії графів співтовариство – це такий підграф, чії вузли щільно пов'язані, проте структурну згуртованість вузлів можна визначити по-різному. Будемо виходити з визначення, що підграф G' є спільнотою, якщо сума всіх ступенів всередині G' більше суми всіх ступенів, спрямованих в іншу частину графа. Модулярність – це частка ребер, які знаходяться в межах заданих груп, за вирахуванням ребер, які перебували б у межах заданих груп при випадковому їх розподілі. Припустимо, що вершини графа співпраці розбиті на спільноти c_i . Тоді модулярність обчислюється як:

$$Q = \sum_i (e_{ii} - a_i), \quad (4)$$

де e_{ii} – частка всіх ребер, що з'єднують спільноти c_i і c_j ; $a_i = \sum_{j, j \neq i} (e_{ij})$ – частка всіх ребер, що з'єднують спільноту c_i з іншими спільнотами.

Щоб реалізувати розбиття на спільноти, потрібно знати ступінь «схожості» між двома будь-якими вузлами, для чого була застосована міра Жаккарда:

$$k = \frac{\|A \cap B\|}{\|A \cup B\|} = \frac{\|A \cap B\|}{\|A\| + \|B\| - \|A \cap B\|}. \quad (5)$$

Значення модулярності лежить в діапазоні $[-1, 1]$. Модулярність позитивна, якщо число ребер всередині груп перевищує їх кількість при випадковому їх розподілі. Для даного поділу вершин соціальної мережі в деякі модулі модулярність відображає концентрацію ребер всередині модулів в порівнянні з випадковим розподілом зв'язків між усіма вузлами незалежно від модулів. Експериментально виявлено, якщо значення модулярності перевищує 0.3, то це є показником на факт наявності спільнот в мережі.

Для виконання кластеризації графа в порівняно однорідні групи використаний метод медоїдів, коли в якості центру кластера може виступати лише одна з наявних вершин графа. Головна проблема цього методу – необхідність явного завдання числа кластерів, тому метод не забезпечує виділення спільнот (community detection), а дозволяє оптимально розбити вихідну множину об'єктів на задану кількість частин. Рисунок 6 відображає, що в співтоваристві користувачів Вікіпедії виділено 37 спільнот, з яких виділяється 4 співтовариства з кількостями членів, які в десятки-сотні разів перевищують інші.

Розглянемо задачу оцінки результатів послідовного розбиття графа на підграфи спільноти, при цьому на кожному наступному етапі в якості вихідного буде розглядатися підграф (спільнота), що містить максимальну кількість членів.

Результати 4-х послідовних ітерацій наведені нижче (рис. 6, 7). Як впливає з графіків збільшується щільність отриманих підграфів (відношення

кількості ребер підграфа до кількості ребер повного підграфа) крім ітерації № 3. Що в свою чергу добре корелює з низьким значенням модулярності (рис. 8), отриманим на другий ітерації.

З використанням наведених вище формул виконано розбиття підграфа голосування на спільноти з виділенням репутаційних центрів, тобто суб'єктів, довіра до котрих власне й гуртує інших членів спільноти (рис. 9). Рисунок побудовано з використанням системи аналізу та візуалізації мережевих структур Gephi. Розмір вузла на малюнку пропорційний розрахунковій величині репутації, а колір відповідає різним співтовариствам вихідного графа.

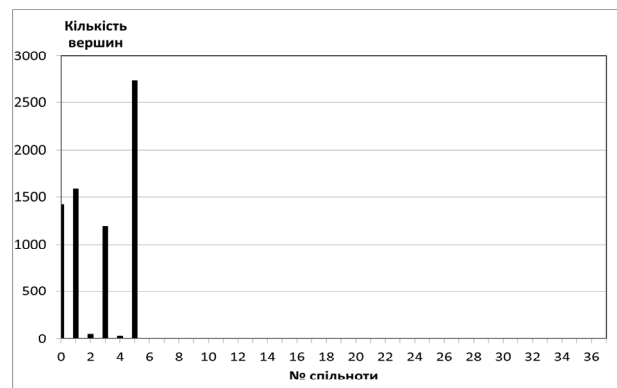


Рис. 6. Кількість вершин в спільнотах графа голосування користувачів Вікіпедії

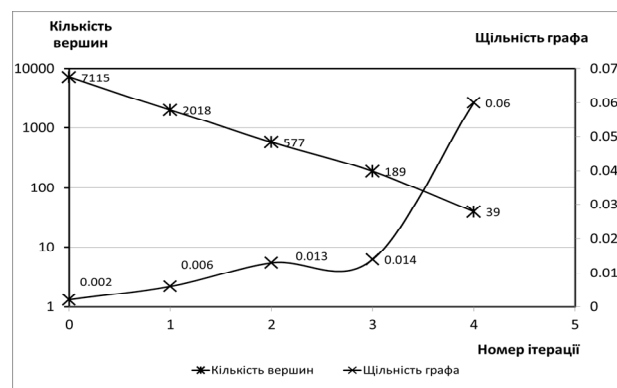


Рис. 7. Кількість вершин і щільність в підграфах (спільнотах) голосування користувачів Вікіпедії

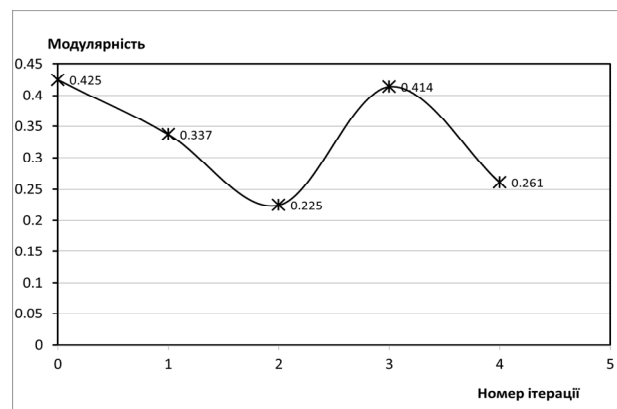


Рис. 8. Модулярність в підграфах (спільнотах) голосування користувачів Вікіпедії

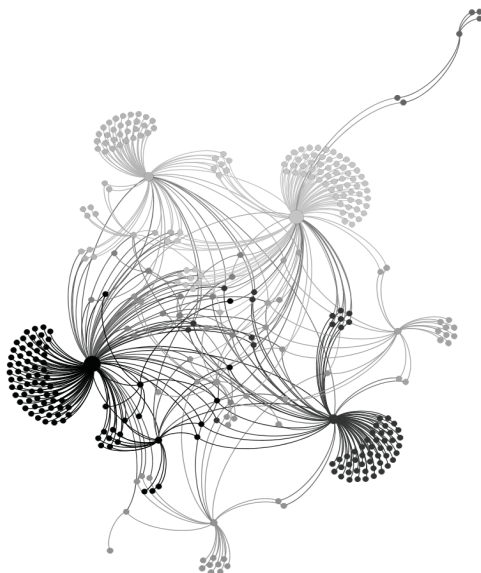


Рис. 9. Спільноти підграфа голосування користувачів Вікіпедії

ВИСНОВКИ

В роботі розглянуті принципи визначення довіри та репутації в соціальній мережі. У якості експериментального використано набір даних Wiki-Votes, який містить результати голосування користувачів Вікіпедії за право отримання статусу адміністратора. Побудований граф містить 8297 вершин і 103689 дуг, які відображають довіру користувачів Вікіпедії, один до одного.

Для розбиття користувачів Вікіпедії на співтовариства виконана кластеризація, як процедура упорядкування об'єктів в порівняно однорідні групи. Ознакою існування таких груп є високе значення модулярності графа користувачів. Кластеризація виконана з використанням методу медоїдів, коли в якості центру кластера може виступати тільки одна з наявних вершин графа. Візуальне представлення графу дає уявлення про спільноти користувачів з виділенням репутаційних центрів, тобто суб'єктів, довіра до котрих власне й гуртує інших членів спільноти.

ИМИТАЦИОННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ РАСЧЕТА ДОВЕРИЯ И РЕПУТАЦИИ В СОЦИАЛЬНОЙ СЕТИ

В.В. Туркина

Рассмотрены вопросы построения систем определения доверия и репутации в социальных сетях. Обоснован выбор набора данных для исследования и инструментального средства для анализа и визуализации сетевых структур. Для выбранного набора данных - результатов голосования пользователей Википедии за право получения статуса администратора получены основные метрики, характеризующие распределение влияния субъектов и объектов голосования. Выполнено кластеризацию графа голосования, что позволило найти сообщества пользователей с выделением репутационных центров.

Ключевые слова: имитационное моделирование, социальная сеть, доверие, репутация, теория графов.

SIMULATION OF THE TRUST AND REPUTATION CALCULATION IN SOCIAL NETWORK

V.V. Turkina

The question of determining building trust and reputation in social networks are presented. The choice of data set for research and tools for analysis and visualization of network structures is made. For the selected data set - the vote for the right users of Wikipedia to become an administrator key metrics that characterize the distribution of influence subjects and objects of the voting are received. Clustering voting graph allowed to find communities with the allocation reputation centers.

Keywords: simulation, social network, trust, reputation, graph theory.

Список літератури

1. Губанов, Д.А. Социальные сети: модели информационного влияния, управления и противоборства [Текст] / Д.А. Губанов, Д.А. Новиков, А.Г. Чхартишвили. – М.: Изд-во физ.-мат. лит., 2010. – 228 с.
2. Abraham, A. Computational Social Network Analysis: Trends, Tools and Research Advances [Text] / A. Abraham, A. E.Hassaniien, V. Snášel. – London.: Springer, 2010.
- Губанов, Д.А. Обзор онлайн-овых систем репутации / доверия / Д. А. Губанов // Интернет-конференция по проблемам управления (www.mtas.ru/forum). - М.: ИПУ РАН, 2009. – 2009. – С. 25.
3. Esch J. An introduction to the paper by Yu, Shen, Miao, Leung and Niyato. A survey of trust and reputation management systems in wireless communication / Proc. of the IEEE. – 2010. – Vol. 98, № 10. – P. 1752–1754.
4. Деньжаков, А. Ю. Модель алгоритма вычисления доверия в социальной сети [Текст] / А. Ю. Деньжаков, Б. Г. Хмелевской. // Наука и бизнес: пути развития. – 2011. – №5. – С. 52–58.
5. Hoffman, K. A. Survey of attack and defense techniques for reputation systems [Text] / K. Hoffman, D. Zage, C. Nita-Rotaru. // ACM Comp. Surveys. – 2009. – №42. – P. 1–31.
6. IRLT: Integrating Reputation and Local Trust for Trustworthy Service Recommendation in Service-Oriented Social Networks [Text] / Z. Liu, J. Ma, Z. Jiang // PLOS ONE. – 2016. – №11. – P. 1–19.
7. Zacharia, G. Trust management through reputation mechanisms [Text] // Applied Artificial Intelligence. - 2000.- Vol. 14. P. 881-907.
8. Vavilisis, S. A reference model for reputation systems [Text] / S. Vavilisis, M. Petkovic, N. Zannone. // Decision Support Systems. – 2014. – №61. – P. 147–154.
9. SNAP: Network datasets: Wikipedia vote network [Electronic resource]. – Access mode: <http://snap.stanford.edu/data/wiki-Vote.html>.
10. Базенков, Н. И. Обзор информационных систем анализа социальных сетей [Текст] / Н. И. Базенков, Д. А. Губанов. // Управление большими системами. – 2013. – №41. – С. 357–396.
11. Николаева, К.В. Дискретный анализ. Графы та їх застосування в економіці [Текст] / К.В. Николаева, В.В. Койбічук; УАБС НБУ. – Суми, 2007. – 80 с.

Надійшла до редколегії 11.09.2016

Рецензент: д-р техн. наук, проф. І.В. Шостак, Національний аерокосмічний університет імені М.С. Жуковського «ХАІ», Харків.

УДК 004.045

Л.Е. Чала, І.В. Свид

Харківський національний університет радіоелектроніки, Харків

КРИТЕРІЇ ТА ПОКАЗНИКИ ЕФЕКТИВНОСТІ ІНФОРМАЦІЙНИХ ТЕХНОЛОГІЙ ОБРОБКИ ДАНИХ СИСТЕМ СПОСТЕРЕЖЕННЯ ПОВІТРЯНОГО ПРОСТОРУ

В статті обґрунтовані критерії та показники ефективності інформаційних технологій та процесів обробки даних в системі контролю повітряного простору. Показано, що показниками ефективності операцій обробки даних є ймовірність правильного виявлення, ймовірність хибного виявлення та кореляційна матриця помилок оцінки вектору стану.

Ключові слова: ефективність, інформаційні технології обробки даних.

Вступ

Постановка проблеми та аналіз літератури.

Відомо [1], що основними елементами процедури контролю повітряного простору (КПП) є:

- аналіз повітряної обстановки;
- прийняття рішень.

Рішення приймає особа на основі аналізу відповідним чином підготовленої інформації про стан повітряної обстановки. Правильне рішення може бути прийнято лише тоді, коли є досить повна, точна, достовірна й безперервна інформація про повітряну обстановку в зоні управління. Отже, якість прийняття рішень визначається якістю й складом інформації, на основі якої особа приймає рішення [2, 3].

Метою роботи є аналіз критеріїв та показників ефективності інформаційних технологій і процесів в системі контролю повітряного простору.

Основна частина

Методологічну основу створення елементів сучасних систем КПП складають інформаційні технології (ІТ), які втілюються при реалізації автоматизованих систем (АС) [4]. АС є інтегрованою інформаційною системою (ІС), що об'єднує інформаційні ресурси та забезпечує в рамках єдиних стандартів збір, накопичення, обробку, пошук і представлення інформації, призначеної для достовірного інформаційно-аналітичного забезпечення прийняття рішень. Відповідно до призначення і характеру вирішуваних завдань, АС можна розділити на дві групи:

- *інформаційні* - призначені для збору інформації про об'єкти спостереження та обстановку;
- *управляючі* - призначені для вирішення завдань управління об'єктами за даними спостережень і вимірювань.

Автоматизовані системи обробки інформації (АСОІ) використовуються автономно або входять в контур систем управління технологічними процесами. У широкому класі АСОІ вхідна інформація

представляється безперервними випадковими процесами (сигналами), які надходять від датчиків. АСОІ реалізуються часто у вигляді інформаційно-вимірювальних систем (ІВС), що функціонують в реальному масштабі часу. У ІВС сигнали від датчиків, після попередньої обробки в приймальних пристроях, подаються для подальшої обробки в ЕОМ.

Інформаційно-вимірювальна система АС КПП включає до свого складу складне сучасне обладнання: апаратуру первинної обробки інформації (ПОІ), засоби вторинної обробки інформації (ВОІ) та функціонує в умовах впливу ряду випадкових зовнішніх факторів (флуктуації сигналів, наявність завад). Аналіз ефективності подібних складних систем можна виконати на основі побудови моделі за ланцюжком: середа – система – математична модель – моделюючий обчислювальний алгоритм з реалізацією на ЕОМ.

Модель, що розробляється, повинна відповідати наступним вимогам:

- враховувати різноманітність прийнятих сигналів і впливаючих завад, що обумовлене великою кількістю типів повітряних об'єктів (ПО), різними дальностями до ПО і різними їх швидкостями, наявністю завад та ін.;
- враховувати тактико-технічні характеристики модельованої ІВС;
- враховувати особливості обробки сигналів та інформації, особливості алгоритмів фільтрації параметрів траєкторій ПО в ЕОМ вторинної обробки;
- точність аналітичних виразів, що використовуються при описі елементів ІВС, і помилки процедур статистичних випробувань регламентуватися вимогами користувача, виходячи з точності задання вхідних впливів;
- прикладні програми повинні допускати різні модифікації і задовольняти вимогам можливих користувачів, зокрема, допускати реалізацію на сучасних засобах обчислення.

Вибір критеріїв ефективності ІВС проводиться виходячи зі звичайних вимог до критеріїв складних систем:

- відповідність критерію основної функції системи;
- критичність до параметрів, що визначаються;
- доступність вимірювання (оцінки) в процесі експлуатації систем.

Сформульованим вимогам задовольняють:

- критерій достовірності відображення інформації в зоні огляду системи спостереження (СС) ІВС КПП, що оцінюється кількісно умовною ймовірністю правильного виведення на монітор мітки ПО з формуляром супроводу;

- критерій точності обробки траєкторій ПО, що оцінюється в загальному випадку кореляційною матрицею похибок вимірювання координат.

В той же час для системи КПП можна виділити ряд притаманних їй ознак:

- велика кількість взаємно пов'язаних та взаємодіючих між собою елементів;

- складність функцій, що виконує система, направлених на досягнення заданої мети функціонування;

- можливість розбиття системи на підсистеми, мета функціонування яких підпорядкована загальній меті функціонування всієї системи;

- управління розгалуженою інформаційною мережею та інтенсивними потоками інформації;

- взаємодія з зовнішнім середовищем та функціонування в умовах впливу випадкових факторів.

Складність процесу КПП також пов'язана з тим, що він протікає в реальному масштабі часу, при обмежених можливостях людини на обміркування ситуації, а іноді й отримання абсолютно достовірної інформації. Від наявності високоякісної інформації залежать можливість виконання функцій системи КПП.

Розглянемо обґрунтування вимог до ІС. Як показано вище система КПП є ІС, але її інформація використовується для управляючих (виконавчих) систем. Задача ІС полягає в наданні інформації про ПО з такою точністю, що ІС управляючих систем могли захватити на супровід ПО, що спостерігаються, без допущення. Дійсно, відповідно до характеру вирішуваних завдань інформаційній засіб (ІЗ) управління має вузьку діаграму спрямованості антени і обмежену зону пошуку. Тому завданням ІЗ вказання цілі є видача координат і параметрів руху ПО з точністю, що дозволяє ІЗ управління за даними вказання цілі захватити ПО без додаткового пошуку або принаймні обмежити зону допущення до мінімуму.

Помилки вказання цілі визначаються похибками вимірювання координат ІЗ вказання цілі, сумарним часом згладжування координат і параметрів, часом передачі, прийому та відпрацювання команд вказання цілі.

З наведеного випливає, якщо задана необхідна ймовірність реалізації вказання цілі та розміри зони

вказання цілі то можна пред'явити вимоги до допустимих значень дисперсії помилок вказання цілі

Таким чином, виходячи з розглянутого критерію ефективності ІС КПП, показниками якості що входять в цю систему інформаційного забезпечення повинні бути вибрані:

1) дальність дії – дальність, на якій забезпечується виконання функціональних завдань кожною ІС;

2) точність на заданих рубежах інформації, що видається, яка характеризується кореляційною матрицею помилок;

3) показник, що характеризує вплив зовнішніх і внутрішніх завад на розглянуту систему і визначається числом хибних ПО, виявлених і супроводжуваних певний час в системі.

Показники якості 1 і 2 пов'язані між собою, так як точність видачі інформації за інших рівних умов залежить від дальності. Крім того, необхідно мати на увазі статистичний характер показників 1, 2 і 3 і їх безпосередній зв'язок з ймовірністю виявлення, ймовірністю хибної тривоги і точністю вимірювання координат ПО. А так як ймовірнісні та точнісні характеристики ІС визначаються їх технічними параметрами, то є безпосередній зв'язок розглянутих показників якості з технічними параметрами ІС, що підлягають вибору в процесі проектування системи.

При проектуванні радіоелектронної техніки внаслідок складності математичної моделі радіолокаційного спостереження, важко вибрати загальний критерій, що задовольняє перерахованим вимогам. Тому доцільно замість загального критерію ввести проміжний показник, який пов'язував би основні параметри СС і системи обробки, що підлягають проектуванню.

Таким показником може бути енергетичне відношення сигнал/завада. Дійсно, він є узагальненим параметром, який може бути з успіхом застосований в якості критерію ефективності при проектуванні СС і систем обробки інформації.

Розглядаючи систему обробки інформації як автономну підсистему СС, можна ставити і вирішувати завдання її проектування не для кожної конкретної СС, а стосовно до класів СС, виходячи з їх функціонального призначення в системах більш високого порядку.

Системний підхід до проектування систем обробки припускає наявність деяких базових математичних моделей і структур, які повинні бути покладені в основу нових розробок. При проектуванні системи обробки в якості базової приймається традиційна і добре відпрацьована структура приймального тракту СС, а в якості базових математичних моделей використовуються алгоритми оптимальних операцій обробки даних, отримані в статистичній теорії радіолокації.

Вирішуючи завдання проектування системи обробки інформації при фіксованих енергетичних параметрах СС, розробник головну увагу приділяє оптимізації приймального тракту при роботі в умовах природних і штучних завад прийому. Усі завдання оптимального прийому вирішуються методами теорії статистичних рішень. Тому й показники ефективності системи обробки в основному запозичені з теорії статистичних рішень, хоча в деяких випадках ці показники отримали характерне радіолокаційне забарвлення [3].

Обробка даних системи КПП здійснюється на основі строго визначеної послідовності етапів. Кожен етап має свій масштаб реального часу обробки, що дозволяє здійснювати їх автономну реалізацію.

Незалежно від призначення системи спостереження основними показниками ефективності операцій обробки даних є:

- для операцій обробки сигналів: ймовірність правильного виявлення сигналу, ймовірність хибного виявлення сигналу, точність оцінки параметрів, яка в загальному випадку характеризується кореляційною матрицею помилок оцінки;

- для операцій ПОІ: ймовірність правильного виявлення ПО, ймовірність хибного виявлення ПО, точність оцінки координат ПО, яка в загальному випадку характеризується кореляційною матрицею помилок оцінки вектору стану;

- для операцій ВОІ: ймовірність правильного виявлення траєкторій ПО, ймовірність виявлення хибної траєкторії, точність оцінки параметрів траєкторії, яка характеризується кореляційною матрицею помилок оцінки параметрів траєкторії, ймовірність зриву супроводу та ін.

Процес проектування системи обробки даних розділяється на два етапи:

- проектування алгоритмів;
- проектування обчислювальних засобів.

Проектування алгоритмів починається зі з'ясування мети їх розробки, формування основних функцій алгоритмів в системі, визначення основних обмежень і критерію ефективності (цільової функції проектування).

На підставі результатів проектування і налагодження комплексного алгоритму можна (на другому етапі) визначити склад і сформулювати вимоги до основних параметрів обчислювальних засобів для реалізації етапів обробки і системи в цілому.

Висновок

Наведені критерії та показники ефективності можуть бути використані при синтезі оптимальних структур обробки даних в системі контролю повітряного простору.

Список літератури

1. *Автоматизированные системы управления воздушным движением: Новые информационные технологии в авиации / Под ред. С.Г. Пятко и А.И. Краснова. – СПб.: Политехника, 2004. – 244 с.*
2. *Фарина А. Цифровая обработка радиолокационной информации / А. Фарина, Ф. Студер. – М.: Радио и связь, 1993. – 319 с.*
3. *Кузьмин С.З. Основы проектирования систем цифровой обработки радиолокационной информации / С.З. Кузьмин. – М.: Радио и связь, 1986. – 352 с.*
4. *Замула А.А. Эффективность информационных процессов и технологий при обслуживании воздушного движения / А.А. Замула, В.И.Черныш, Ю.В. Землянко.- Збірник наукових праць Харківського університету Повітряних Сил. – Х.: ХУПМ, 2013. – Вып. 2 (35). – С. 89-93 .*

Надійшла до редколегії 13.09.2016

Рецензент: д-р техн. наук, проф. О.А. Серков, Національний технічний університет «ХПІ», Харків.

КРИТЕРИИ И ПОКАЗАТЕЛИ ЭФФЕКТИВНОСТИ ИНФОРМАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ ОБРАБОТКИ ДАННЫХ СИСТЕМ НАБЛЮДЕНИЯ ВОЗДУШНОГО ПРОСТРАНСТВА

Л.Э. Чалая, И.В. Свид

В статье обоснованы критерии и показатели эффективности информационных технологий и процессов обработки данных в системе контроля воздушного пространства. Показано, что показателями эффективности операций обработки данных есть вероятность правильного обнаружения, вероятность ложного обнаружения и корреляционная матрица ошибок оценки вектора состояния.

Ключевые слова: эффективность, информационные технологии обработки данных.

CRITERIA AND PERFORMANCE INDICATORS OF DATA PROCESSING FOR AIRSPACE OBSERVING SYSTEM

L.E. Chala, I.V. Svyd

The article substantiated the criteria and indicators of the effectiveness of information technology and data processing in the airspace observing system. It is shown that the performance efficiency of the data processing operations is the probability of correct detection, probability of false detection and correlation matrix assessment of the state vector.

Keywords: efficiency, information processing technology.

УДК 355.233.1.005

А.С. Чуприна, В.В. Пакин

Харьковский национальный университет радиоэлектроники, Харьков

ИССЛЕДОВАНИЕ МЕТОДОВ УСКОРЕННОЙ ОБРАБОТКИ И ПЕРЕДАЧИ БОЛЬШИХ ДАННЫХ МЕЖДУ КЛИЕНТОМ И СЕРВЕРОМ

Для обеспечения эффективности передачи больших данных между клиентом и сервером в статье предлагается анализ существующих проблем в области больших данных, а также анализ существующих методов и инструментов для работы с передачей Big Data. Для тестирования разницы работы между различными протоколами было проведено несколько тестов, которые продемонстрировали различия в пропускной способности и загрузки центрального процессора при различных параметрах, а также выделили оптимальные параметры для передачи данных.

Ключевые слова: модель, метод, эффективность, передача больших данных, клиент, сервер.

Введение

Большие данные в информационных технологиях – это совокупность подходов, инструментов и методов обработки структурированных и неструктурированных данных огромных объёмов и значительного многообразия для получения воспринимаемых человеком результатов, эффективных в условиях непрерывного прироста, распределения по многочисленным узлам вычислительной сети [1].

В качестве определяющих характеристик для больших данных отмечают «три V»: объём (англ. volume, в смысле величины физического объёма), скорость (англ. velocity в смыслах как скорости прироста, так и необходимости высокоскоростной обработки и получения результатов), многообразие (англ. variety, в смысле возможности одновременной обработки различных типов структурированных и полуструктурированных данных) [2 – 4].

Большие данные становятся очень популярной тенденцией в области исследований и развития бизнеса и науки. Время передачи по глобальной компьютерной сети Интернет зависит от реальной пропускной способности канала связи и объема данных. Учитывая, что речь идет об объемах в 100 ТБ и более, можно оценить минимальное требуемое время для копирования данных по сетевому каналу с пропускной способностью в 1 Гбит. Это дает нам около 100 МБ в секунду [5 – 7].

Интерес к инструментам сбора, обработки, управления и анализа больших данных проявляли едва ли не все ведущие ИТ-компании, что вполне закономерно. Во-первых, они непосредственно сталкиваются с этим феноменом в собственном бизнесе, во-вторых, большие данные открывают отличные возможности для освоения новых ниш рынка и привлечения новых заказчиков. Активно используют инструменты больших данных такие компании, как: Amazon, eBay, Facebook, Google, IBM, LinkedIn, Microsoft, Oracle, SAS, Yahoo и др. (рис. 1, 2) [8].

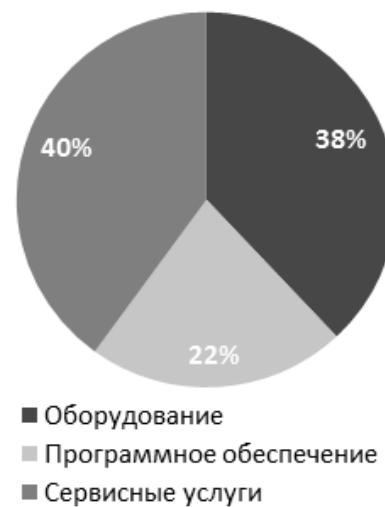


Рис. 1. Объем рынка Big Data, 2015 г. по сегментам

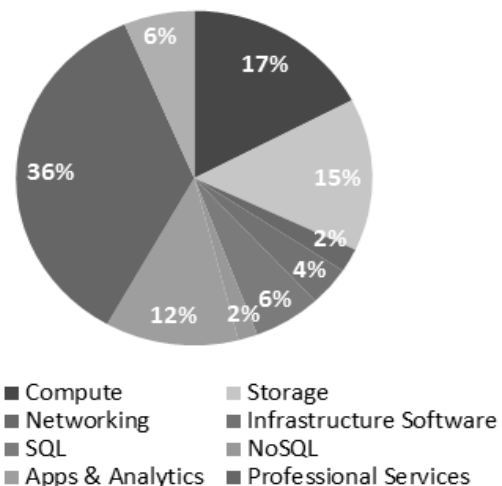


Рис. 2. Объем рынка Big Data, 2015 г. по подтипам

1. Проблемы с Big Data

Проблемы системы Big Data можно свести к трем основным группам: объем, скорость обработки, не структурированность. Это три V – Volume, Velocity и Variety.

Хранение больших объемов информации требует специальных условий, и это вопрос пространства и возможностей. Скорость связана не только с возможным замедлением и «торможением», вызываемом старыми методами обработок, это еще и вопрос интерактивности: чем быстрее процесс, тем больше отдача, тем продуктивнее результат.

Проблема неоднородности и не структурированности возникает по причине разрозненности источников, форматов и качества. Чтобы объединить данные и эффективно их обрабатывать, требуется не только работа по приведению их в пригодный для работы вид, но и определенные аналитические инструменты (системы).

Существует также проблема предела «величины» данных. Ее трудно установить, а значит трудно предугадать, какие технологии и сколько финансовых вливаний потребуется для дальнейших разработок. Однако для конкретных объемов данных (терабайт, к примеру) уже применяются действующие инструменты обработки, которые к тому же и активно развиваются.

Существует проблема, связанная с отсутствием четких принципов работы с таким объемом данных. Неоднородность потоков только усугубляет ситуацию. Каким образом подходить к их применимости, чтобы вынести из них что-то ценное? Здесь требуется разработка такого направления, как новые методы анализа Big Data, чтобы этот поток стал полезным источником информации.

Также необходимо обратить внимание на другую проблему – обеспечение безопасности хранения и использования данных. Например, сведения о возможных покупателях и их история переходов на сайтах интернет-магазинов однозначно применимы для решения многих бизнес-задач. Но безопасна ли аналитическая платформа, которой потребители в автоматическом режиме (просто потому, что зашли на сайт) передают свои данные, это вызывает множество споров. Современную вирусную активность и хакерские атаки не сдерживают даже супер-защищенные серверы правительственных спецслужб.

2. Методики анализа больших данных

Существует множество разнообразных методик анализа массивов данных, в основе которых лежит инструментарий, заимствованный из статистики и информатики (например, машинное обучение). Вот самые популярные из них:

- методы класса Data Mining: обучение ассоциативным правилам (англ. association rule learning), классификация (методы категоризации новых данных на основе принципов, ранее примененных к уже наличествующим данным), кластерный анализ, регрессионный анализ;

- краудсорсинг — категоризация и обогащение данных силами широкого, неопределенного круга лиц, привлеченных на основании публичной оферты, без вступления в трудовые отношения;

- смешение и интеграция данных (англ. data fusion and integration) – набор техник, позволяющих интегрировать разнородные данные для возможности глубинного анализа, в качестве примеров таких техник, составляющих этот класс методов приводятся цифровая обработка сигналов и обработка естественного языка (включая тональный анализ);

- машинное обучение, включая обучение с учителем и без учителя, а также использование моделей, построенных на базе статистического анализа или машинного обучения для получения комплексных прогнозов на основе базовых моделей;

- искусственные нейронные сети, сетевой анализ, оптимизация, генетические алгоритмы;

- распознавание образов;

- прогнозная аналитика;

- имитационное моделирование;

- визуализация аналитических данных — представление информации в виде рисунков, диаграмм, с использованием интерактивных возможностей и анимации.

3. Анализ инструментов для работы с передачей Big Data

Ниже перечислены и описаны основные инструменты для работы с Big Data:

- один из протоколов низкого уровня для передачи данных по сети является UDT. UDT является библиотекой, которая реализует протокол передачи данных, которые позволяют использовать ПДП. В некоторых случаях библиотека может помочь улучшить использование линии передачи данных, то есть, чтобы сократить время передачи данных.

- протокол RDMA поверх конвергентной Ethernet (ROCE) был изучен и было обнаружено, что во многих случаях ROCE показывает лучшие результаты, чем UDP и TCP обычного.

- MPTCP интересен протокол, который позволяет использовать несколько каналов передачи данных в непараллельности для одной передачи данных, реализован в виде драйвера ядра Linux.

- OpenSSH - хорошо известные данные утилиты передачи обеспечивают высокое качество алгоритмов шифрования данных. Сжатие данных, прежде чем происходит шифрование, для уменьшения объема данных, подлежащих передаче.

- Bbcp — утилита для передачи больших объемов данных. Предполагается, что bbcp работает с обеих сторон, то есть передатчик, в качестве клиента, и приемник в качестве сервера.

- Bbftp - утилита для передачи больших объемов данных, реализует свой собственный протокол

передачи данных, который оптимизирован для больших файлов (больше 2GB), он не читает пароль в файле и шифрует информацию о соединении.

- FDT - Java утилита для передачи данных многопоточности и поддержка ввода / вывода настройки размера буфера.

- GridFTP является усовершенствованная конструкция хорошо известной утилиты FTP для инфраструктуры безопасности Globus (ГИС).

В табл. 1 сравниваются достоинства и недостатки основных инструментов для передачи Big Data по сети Интернет.

Таблица 1

Достоинства и недостатки основных инструментов для передачи Big Data в Интернет

Критерии \ Инструменты	GridFTP	bbcp	bbftp
Защита	+	-	+
Параллелизм	+	+	+
Разделение данных на разные устройства	+	-	-
Сторонние дополнения	+	-	+
Передача файлами частями	+	-	-
Надежность	+	+/-	+
Согласование TCP / буферных размеров окна	+	+	+
Сжатие данных	+	+	+

4. Тестирование созданного метода передачи данных

Для тестирования разницы работы между RDMA и TCP протоколами было проведено несколько тестов. Эти тесты были сделаны, чтобы продемонстрировать различия в пропускной способности и загрузки центрального процессора при различных параметрах, а так же выделить оптимальные параметры для передачи данных.

Список тестов:

- Disk-To-Disk передача данных;
- Memory-To-Memory передача данных.

Для этих тестов было взято 10GiB данных и передача осуществлялась в течении 5 минут при задержке в 48ms.

При передаче данных с физического диска на физический диск пропускная способность, как TCP так и RDMA протоколами, была очень низкой. Можно сделать следующие выводы, что размер блока данных, который был считан с диска, а затем записан в сеть, не влияет на общую пропускную способность.

Также пропускная способность была гораздо меньше чем выделенная.

При передаче данных методом Memory-To-Memory TCP показал следующие результаты на любом размере передаваемых файлов:

- 1 соединение – 3357Mbps;
- 2 параллельных соединения – 5497Mbps;
- 4 параллельных соединения – 5794Mbps.

При работе с RDMA скорость передачи зависела от размера файла. При маленьких размерах блоков передаваемой информации пропускная была хуже чем у TCP. Но после преодоления барьера в 100MiB наблюдалось значительное увеличение пропускной способности: 50MiB – 1200Mbps; 256MiB – 4000Mbps; Gib – 6200Mbps. При увеличении числа потоков пропускная способность возрастала до 7000Mbps. На рис. 4 и 5 отображены результат работы при передаче данных Memory-To-Memory

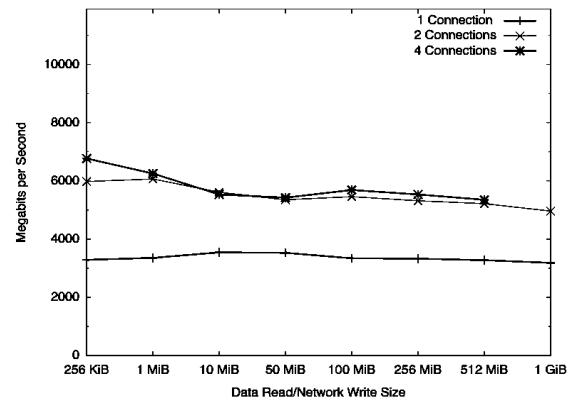


Рис. 4. TCP передача данных Memory-To-Memory

На основе этих графиков и полученных данных можно сделать вывод, что RDMA лучше работает при передаче файлов блоками больше чем 100MiB и пропускная способность только увеличивается с увеличением блока. В то время как TCP имеет хорошую пропускную способность с более мелкими блоками информации и с увеличением размера, его работоспособность только падает.

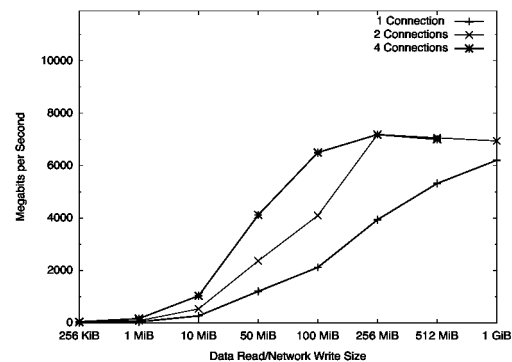


Рис. 5. RDMA передача данных Memory-To-Memory

При работе с ограниченным количеством времени TCP имело стабильную работу во всех случаях с большим кол-вом соединений: 1 соединение – 3500Mbps; 2 соединения – 6800Mbps; 4 соединения – 9400Mbps. RDMA снова демонстрировал значительное улучшение пропускной способности, когда размер блока передаваемой информации становился больше. Во всех случаях, 4 параллельных соединения имели более высокую пропускную способность, чем 2 или 1 соединение. Максимальная пропускная спо-

собність составила 9247 Мbps с 4 соединениями и больше чем 512MiB размера блоков. На рис. 6 и 7 отображены графики работы этих протоколов.

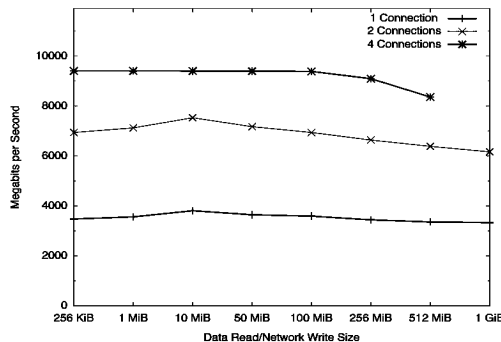


Рис. 6. Пропускная способность TCP в течении 5 минут

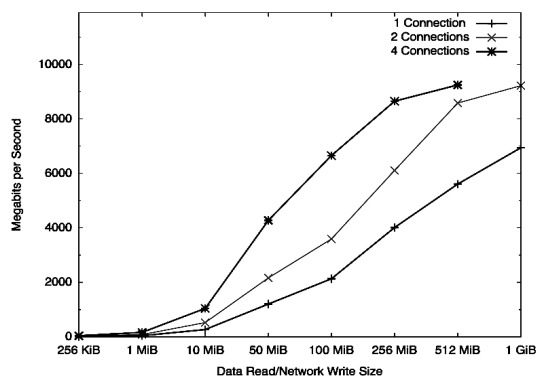


Рис. 7. Пропускная способность RDMA в течении 5 минут

Выводы

Проведенное исследование демонстрирует жизнеспособность RDMA, и конкретно ROCE, как основной метод транспорта для применения GridFTP. Производительность драйвера RDMA можно разбить в целом на два случая, то есть, при достаточно больших размерах сообщений, а также те, где размера сообщения было недостаточно для поддержания производительности.

ДОСЛІДЖЕННЯ МЕТОДІВ ПРИСКОРЕНОЇ ОБРОБКИ І ПЕРЕДАЧІ ВЕЛИКИХ ДАНИХ МІЖ КЛІЄНТОМ І СЕРВЕРОМ

А.С. Чуприна, В.В. Пакін

Для забезпечення ефективності передачі великих даних між клієнтом і сервером в статті проводиться аналіз існуючих проблем в області великих даних, а також аналіз існуючих методів та інструментів для роботи з передачею Big Data. Для тестування різниці роботи між різними протоколами було проведено кілька тестів, які продемонстрували відмінності в пропускну здатності і завантаження центрального процесора при різних параметрах, а також виділили оптимальні параметри для передачі даних.

Ключові слова: модель, метод, ефективність, передача великих даних, клієнт, сервер.

RESEARCH OF METHODS FOR ACCELERATED PROCESSING AND TRANSFER BIG DATA BETWEEN CLIENT AND SERVER

A.S. Chupryna, V.V. Pakin

To ensure the effectiveness of the transfer of big data between client and server in the article analyzes the existing problems in the field of big data, as well as the analysis of existing methods and tools for the transfer of Big Data. To test the difference between different protocols were conducted multiple tests, which demonstrated differences in bandwidth and CPU usage at various parameters and identified the optimal parameters for the data transmission.

Keywords: model, method, efficiency, big data transfer, client, server.

В тех случаях, когда размер сообщения был 256MiB или больше, RDMA выполняется так же, или лучше, чем драйвер TCP, как в отношении к пропускной способности так и к загрузки процессора. В синхронизированных передачах, при увеличении размера сообщения RDMA пропускная способность также увеличивается, что свидетельствует о важности этого признака RDMA. TCP в отличие от RDMA в целом не зависит от размера передаваемого сообщения.

Загрузка процессора была значительно выше с драйвером TCP. Как правило, RDMA был вблизи нулевой загрузки процессора, когда метод генерации данных для передачи инфекции принимается во внимание. Это важное открытие, поскольку оно показывает, что с учетом современных аппаратных средств, RDMA транспорт будет масштабироваться с увеличением скорости сети. Учитывая современную скорость сети, это позволяет серверам передачи данных выполнять другие задачи в то время, как передача продолжается, или, возможно, использовать другие RDMA аппаратные средства для других передач. TCP однако, как показано в этих экспериментах, будет ограничено во многих случаях в качестве центрального процессора.

Список литературы

1. http://www.es.net/assets/pubs_presos/eScience-networks.pdf.
2. <http://www.slac.stanford.edu/~abh/bbcp>.
3. http://moo.nac.uci.edu/~hjm/HOWTO_move_data.htm
4. <http://doc.in2p3.fr/bbftp/doc.3.2.1.html>.
5. <http://www.wired.com/magazine/2013/04/bigdata>.
6. <https://tnc2013.terena.org/getfile/402>.
7. <https://tnc2013.terena.org/getfile/716>.
8. https://ru.wikipedia.org/wiki/Большие_данные.

Надійшла до редколегії 20.09.2016

Рецензент: д-р техн. наук, проф. О.О. Можаяв, Національний технічний університет «ХПІ», Харків.

УДК 519.87:316.458.6

Ю.І. Шевяков

Харківський національний університет Повітряних Сил імені Івана Кожедуба, Харків

МЕТОД ПРОГНОЗУВАННЯ КІЛЬКОСТІ ОБСЯГІВ МЕТРОЛОГІЧНОГО ОБСЛУГОВУВАННЯ ВІЙСЬКОВИХ ЗАСОБІВ ВИМІРЮВАЛЬНОЇ ТЕХНІКИ НА ОСНОВІ УДОСКОНАЛЕНИХ БАГАТОФАКТОРНИХ РЕГРЕСІЙНИХ МОДЕЛЕЙ

Запропонований метод прогнозування кількості обсягів метрологічного обслуговування військових засобів виміральної техніки зразків ОВТ, що використовує удосконалені багатofакторні регресійні моделі.

Ключові слова: метрологічне обслуговування, регресійна модель, фактори, фіктивні змінні.

Вступ

Постановка задачі. Для забезпечення своєчасного метрологічного обслуговування (МО) зразків озброєння та військової техніки (ОВТ) необхідно вдосконалити систему управління силами й засобами метрологічного забезпечення та мати можливість здійснювати прогнозування стану військових засобів виміральної техніки (ВЗВТ). Від точності та достовірності прогнозу залежить ефективність реалізації управлінських рішень як в частині оцінки потреби МО зразків ОВТ, так і в частині визначення кількості сил і засобів, які використовуються в метрологічних підрозділах Збройних Сил України, та їх розподілу. Це особливо важливо в сучасних умовах розвитку й реформування Збройних Сил України, які характеризуються появою новітніх зразків озброєння та військової техніки, суттєвим розвитком інформаційних технологій, збільшенням чисельності Збройних Сил України, що вимагає як розширення парку пересувних лабораторій виміральної техніки, так і суттєвої якісної заміни обладнання [1 – 3]. Таким чином, наукове обґрунтування методу прогнозування кількості ВЗВТ зразків ОВТ для метрологічного обслуговування шляхом розробки відповідних математичних моделей є актуальним науково-технічним завданням.

Аналіз літератури. В [2, 3] розглянуті питання організації виробничої діяльності військових метрологічних лабораторій в Міністерстві оборони України та Збройних Силах України. Питання прогнозування на основі регресійних моделей розглянуті в [4, 5]. Разом з тим, в цих роботах не враховувалися суттєві чинники, які впливають на якість прогнозу, такі як стан військової техніки, стан системи безпеки держави, військова ситуація тощо.

Метою статті є обґрунтування методу прогнозування кількості ВЗВТ зразків ОВТ на основі удосконалених багатofакторних регресійних моделей.

Основний матеріал

При прогнозуванні метрологічного обслуговування ВЗВТ зразків ОВТ будемо виходити з того, що

відома необхідна статистична інформація о кількості замовлень для метрологічного обслуговування ВЗВТ різних типів в залежності від значень факторів, які впливають на цю кількість замовлень. Природно вважати, що у якості цих факторів виступають кількості зразків ОВТ, які оснащені відповідними типами ВЗВТ. В цьому випадку будемо використовувати статистичні методи прогнозування, які засновані на моделях множинного регресійного аналізу [4].

Багатofакторну регресійну модель прогнозування замовлень для метрологічного обслуговування ВЗВТ розглядаємого типу представлено у вигляді

$$Y = f(x_1, x_2, \dots, x_m, \varepsilon), \quad (1)$$

де Y – випадкова залежна змінна, яка описує кількість замовлень на метрологічне обслуговування ВЗВТ певного типу; x_1, x_2, \dots, x_m – фактори, або незалежні змінні, що впливають на змінення Y та описують кількості зразків ОВТ кожного виду; ε – випадкова складова, яка описує вплив неврахованих та випадкових факторів на змінення Y ; m – кількість видів зразків ОВТ. Розглянемо спочатку лінійну багатofакторну модель регресійну модель

$$Y = \beta_0 + \beta_1 x_1 + \beta_2 x_2 + \dots + \beta_m x_m + \varepsilon, \quad (2)$$

де $\beta_0, \beta_1, \dots, \beta_m$ – параметри моделі, причому $\beta_u = 0$, якщо зразок ОВТ u -го виду не містить ВЗВТ типу, що розглядається. Позначимо i -те спостереження змінної Y через y_i , факторів через $x_{i1}, x_{i2}, \dots, x_{im}$, випадкової складової – ε_i відповідно, де $i = \overline{1, n}$, а n – кількість спостережень.

Під час проведення аналізу за моделлю (2) будемо вважати, що виконані такі умови [4]:

1. В моделі (2) похибка ε_i (y_i) – випадкова, а фактори $x_{i1}, x_{i2}, \dots, x_{im}$ – не випадкові величини.

2. Математичне сподівання похибки ε_i дорівнює нулю: $M[\varepsilon_i] = 0$; $i = \overline{1, n}$.

3. Дисперсія ε_i (y_i) постійна: $D[\varepsilon_i] = \sigma^2$.

4. ε_i та ε_j некорельовані: $M[\varepsilon_i \varepsilon_j] = 0$; $i \neq j$.

5. ε_i (y_i) є нормально розподілена.

Для оцінки параметрів регресійної моделі у випадку, якщо виконуються умови 1-4, будемо використовувати метод найменших квадратів. Ці вимоги пов'язані з тим, що оцінки параметрів моделі повинні бути незміщеними, обґрунтованими та ефективними (теорема Гаусса-Маркова) [4]. Оцінкою цієї моделі за вибіркою є рівняння регресії:

$$\hat{y} = b_0 + b_1x_1 + b_2x_2 + \dots + b_mx_m, \quad (3)$$

де \hat{y} – оцінка математичного сподівання залежної змінної Y ; b_i ; $i = \overline{0, n}$ – оцінки коефіцієнтів β_i .

Згідно методу найменших квадратів невідомі параметри b_i ; $i = \overline{0, n}$ визначаються таким чином, щоб сума квадратів $S(b_0, b_1, \dots, b_m)$ відхилень значень y_i від значень \hat{y}_i рівняння регресії (3) була мінімальною:

$$S(b_0, \dots, b_m) = \sum_{i=1}^n (y_i - b_0 - \dots - b_mx_{im})^2 \rightarrow \min. \quad (4)$$

У відповідності до (4)

$$\begin{cases} \frac{\partial S}{\partial b_0} = -2 \sum_{i=1}^n (y_i - b_0 - b_1x_{i1} - \dots - b_mx_{im}) = 0; \\ \dots \\ \frac{\partial S}{\partial b_m} = -2 \sum_{i=1}^n x_{ip} (y_i - b_0 - b_1x_{i1} - \dots - b_mx_{im}) = 0. \end{cases} \quad (5)$$

Після розв'язання (4) отримаємо значення параметрів рівняння регресії, в матричній формі:

$$b = (X^T X)^{-1} X^T y, \quad (6)$$

де $b = [b_0, b_1, b_2, \dots, b_m]^T$ – вектор параметрів рівняння регресії; $y = [y_1, y_2, \dots, y_n]^T$ – вектор значень залежної змінної, а матриця значень факторів

$$X = \begin{bmatrix} 1 & x_{11} & \dots & x_{1m} \\ 1 & x_{21} & \dots & x_{2m} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ 1 & x_{n1} & \dots & x_{nm} \end{bmatrix}.$$

З математичної статистики відомо, що будь-яка статистика має бути перевірена на значущість. Іншими словами, за допомогою спеціальних критеріїв необхідно встановити, чи зумовлене значення цієї функції лише похибками вимірювання, чи вона відображає якусь суттєву (значущу) інформацію.

Значущість рівняння регресії (3) у цілому оцінюється за допомогою F-критерія Фішера, а саме: фактичне значення F-статистики

$$F_{\text{факт}} = \frac{R^2}{1-R^2} \cdot \frac{n-m-1}{m} \quad (7)$$

порівнюють з табличним значенням розподілу Фішера з m і $n-m-1$ ступенями свободи при заданому рівні значущості α :

$$F_{\text{табл}} = F_{\alpha; m; n-m-1}, \quad (8)$$

де коефіцієнт детермінації

$$R^2 = \frac{\sum_{i=1}^n (\hat{y}_i - \bar{y})^2}{\sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2}. \quad (9)$$

Якщо $F_{\text{факт}} > F_{\alpha; m; n-m-1}$, то рівняння регресії (3) признається статистично значущим на рівні значущості α , що свідчить про адекватність моделі. Якщо $F_{\text{факт}} < F_{\alpha; p; n-p-1}$, то признається статистична незначущість рівняння регресії (3) на рівні значущості α , тобто модель вважається неадекватною.

Якщо побудована модель (3) адекватна за F-критерієм, то її застосовують для прогнозування залежної змінної. Прогнозне значення \hat{y}_n визначається шляхом підстановки у рівняння регресії (3) відповідних значень факторів $x_{n1}, x_{n2}, \dots, x_{nm}$:

$$\hat{y}_n = \hat{y}(x_{n1}, \dots, x_{np}) = b_0 + b_1x_{n1} + \dots + b_px_{nm}. \quad (10)$$

Для оцінки якості підбору регресійної моделі до спостережень y_i (характеристики її прогностичної сили) будемо використовувати коефіцієнт детермінації (9), що характеризує, яка частка варіації залежної змінної обумовлена варіацією факторів [4]. Наведемо властивості коефіцієнта детермінації:

1. Коефіцієнт множинної детермінації приймає значення на відрізку $[0; 1]$, тобто $0 \leq R^2 \leq 1$. Чим ближче R^2 до одиниці, тим краще регресія апроксимує емпіричні дані.

2. Якщо $R^2 = 1$, між змінними y та x_1, x_2, \dots, x_m існує лінійна функціональна залежність.

3. Якщо $R^2 = 0$, то варіація залежної змінної повністю обумовлена впливом випадкових та неврахованих факторів.

На практиці для оцінки ступеню апроксимації спостережень рівнянням регресії використовують наступні емпіричні правила [6]:

- 1) $R^2 > 0,95$ - висока точність апроксимації;
- 2) $0,7 < R^2 < 0,95$ - задовільна апроксимація;
- 3) $R^2 < 0,6$ - незадовільна апроксимація.

Недоліком коефіцієнта множинної детермінації R^2 являється те, що він, взагалі, збільшується при додаванні нових факторів, хоча це не обов'язково означає поліпшення якості регресійної моделі. Врахувати дану особливість дозволяє скоригований коефіцієнт детермінації \hat{R}^2 , який визначається як [4]:

$$\hat{R}^2 = 1 - \frac{n-1}{n-m-1} (1 - R^2). \quad (11)$$

На відміну від R^2 скоригований \hat{R}^2 може зменшуватись при введенні у модель нових факторів, які не чинять істотного впливу на залежну змінну. Для оцінки якості рівняння регресії використовують також й інші показники ефективності: середню аб-

солотну похибку у відсотках (МАРЕ), середню відсоткову похибку (МРЕ). Середня абсолютна похибка у відсотках розраховується за формулою

$$\text{МАРЕ} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n |y_i - \hat{y}_i| / y_i \cdot 100\% \quad (12)$$

та характеризує наскільки великі похибки прогнозу у порівнянні з фактичними значеннями залежної змінної. Допустима межа значень МАРЕ – не більше 8-10%. Середня відсоткова похибка дорівнює

$$\text{МРЕ} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (y_i - \hat{y}_i) / y_i \cdot 100\% \quad (13)$$

та визначає зміщеність (постійне зменшення або збільшення) побудованого прогнозу. Значення, які обчислюються з співвідношення (12), інтерпретуються таким чином. Якщо модель прогнозування є незміщеною, то показник $|\text{МРЕ}|$ буде мати значення, яке близьке до нуля, і не повинен перебільшувати 5%. Якщо у результаті розрахунків отримується велике позитивне (негативне) відсоткове значення, то побудована модель послідовно переоцінює (недооцінює) результат прогнозу.

Розглянута регресійна модель розв'язання задачі прогнозування потреби в метрологічному обслуговуванні ВЗВТ зразків ОВТ потребує корегування, пов'язаного з умовою проведення обслуговування: застосування в умовах мирного часу, проведення АТО або воєнного часу. Запропонуємо наступний метод корегування результатів аналізу, який дозволяє оцінювати вплив значень кількісних якісних факторів (мирний час, АТО, воєнний час) на залежну змінну за допомогою так званих фіктивних змінних [4]. У якості фіктивних змінних, будемо використовувати дихотомічні змінні, які приймають лише два значення: 0 або 1. У нашому випадку введемо у модель (2) дві фіктивні булеві змінні z_1 та z_2 :

$$Y = \beta_0 + \beta_1 x_1 + \beta_2 x_2 + \dots + \beta_m x_m + \alpha_1 z_1 + \alpha_2 z_2 + \varepsilon, \quad (14)$$

де α_1, α_2 – коефіцієнти при фіктивних змінних.

Параметри запропонованої моделі будемо оцінювати за допомогою методу найменших квадратів:

$$\hat{y} = b_0 + b_1 x_1 + b_2 x_2 + \dots + b_m x_m + a_1 z_1 + a_2 z_2, \quad (15)$$

де a_1, a_2 – оцінки параметрів α_1, α_2 . У разі, якщо скоригований коефіцієнт детермінації для рівняння регресії (15) \hat{R}_{xz}^2 буде перебільшувати \hat{R}_x^2 – скоригований коефіцієнт детермінації для рівняння регресії (3), отримаємо підтвердження щодо доцільності застосування саме рівняння регресії (15) для прогнозування потреби ВЗВТ. Окрім лінійної моделі (2) можливо використання й нелінійних багатofакторних регресійних моделей, а саме квадратичної

$$Y = \beta_0 + \beta_1 x_1 + \beta_2 x_2 + \dots + \beta_m x_m + \beta_{11} x_1^2 + \beta_{22} x_2^2 + \dots + \beta_{mm} x_m^2 + \beta_{12} x_1 x_2 + \beta_{13} x_1 x_3 + \dots + \beta_{m-1,m} x_{m-1} x_m + \varepsilon, \quad (16)$$

степеневі

$$Y = \beta_0 x_1^{\beta_1} x_2^{\beta_2} \dots x_m^{\beta_m} + \varepsilon, \quad (17)$$

експоненціальної

$$Y = \exp(\beta_0 + \beta_1 x_1 + \beta_2 x_2 + \dots + \beta_m x_m) + \varepsilon \quad (18)$$

та інших моделей. Причому, обирається та з них, для якої скоригований коефіцієнт детермінації – найбільший, а середня абсолютна похибка у відсотках та середня відсоткова похибка – мінімальні.

Для оцінки параметрів β_i в рівняннях нелінійних моделей можна використовувати два підходи [4].

Перший підхід заснований на лінеаризації моделі й полягає в тому, що за допомогою належних перетворень вхідних змінних залежності, що досліджується, представляється у вигляді лінійного співвідношення між отриманими змінними. Для лінеаризації можуть використовуватися як моделі, які є нелінійними за факторами, але є лінійними за параметрами, так і моделі, які є нелінійними за параметрами. Так квадратична модель (16) є нелінійною за факторами, але лінійна за параметрами. Її можна за допомогою нових змінних

$$\xi_{11} = x_1^2; \xi_{22} = x_2^2; \dots; \xi_{mm} = x_m^2; \xi_{12} = x_1 x_2;$$

$$\xi_{13} = x_1 x_3; \dots; \xi_{m-1,m} = x_{m-1} x_m$$

звести до такої лінійної моделі:

$$Y = \beta_0 + \beta_1 x_1 + \dots + \beta_m x_m + \beta_{11} \xi_{11} + \dots + \beta_{mm} \xi_{mm} + \beta_{12} \xi_{12} + \dots + \beta_{m-1,m} \xi_{m-1,m} + \varepsilon, \quad (19)$$

параметри якої знаходяться звичайним методом найменших квадратів за формулою (6).

Проте, слід відмітити й недолік такої заміни змінних, пов'язаний з тим, що вектор оцінок параметрів (6) для регресійної моделі (16) отримується не з умови мінімізації суми квадратів відхилень для вхідних змінних-факторів, а з умови мінімізації суми квадратів відхилень для перетворених змінних для моделі (19), що не одне й теж.

Більш складною задачею є оцінювання параметрів у випадку нелінійної моделі за параметрами. Так моделі (17) та (18) неможливо звести до лінійних моделей. Але, якщо розглянуті моделі представити у мультиплікативній формі, а саме:

$$Y = \beta_0 x_1^{\beta_1} x_2^{\beta_2} \dots x_m^{\beta_m} \cdot \varepsilon \quad (20)$$

$$\text{та } Y = \exp(\beta_0 + \beta_1 x_1 + \beta_2 x_2 + \dots + \beta_m x_m) \cdot \varepsilon, \quad (21)$$

то вони зводяться до лінійних [4, 5] логарифмуванням обох частин рівнянь (20, 21)

$$\ln Y = \beta_0 + \beta_1 \ln(x_1) + \beta_2 \ln(x_2) + \dots + \beta_m \ln(x_m) + \ln(\varepsilon);$$

$$Z = B_0 + \beta_1 X_1 + \beta_2 X_2 + \dots + \beta_m X_m + E, \quad (22)$$

де $Z = \ln Y$; $B_0 = \ln \beta_0$; $X_1 = \ln(x_1)$; $X_2 = \ln(x_2)$; ...; $X_m = \ln(x_m)$; $E = \ln(\varepsilon)$, $\ln Y = \beta_0 + \dots + \beta_m x_m + \ln(\varepsilon)$;

$$Z = \beta_0 + \beta_1 x_1 + \beta_2 x_2 + \dots + \beta_m x_m + E, \quad (23)$$

де $Z = \ln Y$; $E = \ln(\varepsilon)$.

Отже, для оцінки параметрів регресійних моделей (16) – (18) пропонується другий підхід, який полягає в застосуванні методів оптимізації, на основі вхідних змінних - факторів та залежної змінної, наприклад, модифікованого метода Ньютона, метода Маркварда, метода можливих напрямків [7]. Застосування відповідного програмного забезпечення ПЕВМ, таких як пакети прикладних програм Mathematic, Statgraphics, Statistica, Excel знімає всі обчислювальні проблеми, які раніше були перепоною для розв'язання нелінійних багатофакторних регресійних моделей.

Для нелінійної залежності скоригованій коефіцієнт множинної детермінації визначається за тією ж формулою, що й для лінійної залежності

$$\hat{R}^2 = 1 - \frac{n-1}{n-m-1}(1-R^2), \quad (24)$$

де m – кількість параметрів при змінних x . Відмінність формул (11) та (24) складається в тому, що для лінійної залежності під m розуміється кількість факторів, проте для нелінійної залежності під m розуміється кількість параметрів при змінних x та їх перетвореннях (x^2 , \sqrt{x} , $\ln x$). Як і для лінійної регресії, коефіцієнт детермінації використовується й для оцінки значущості рівняння нелінійної регресії за F-критерієм Фішера.

Співвідношення для F-статистики у цьому випадку має такий вигляд:

$$F_{\text{факт}} = \frac{R^2}{1-R^2} \cdot \frac{n-m-1}{m}, \quad (25)$$

де m – кількість параметрів при змінних x . Відмінність формул (7) та (25) є аналогічною вказаній відмінності між (10) та (23).

Введемо в регресійні моделі (16) – (18) фіктивні змінні, що враховують якісний фактор:

$$Y = \beta_0 + \beta_1 x_1 + \dots + \beta_m x_m + \beta_{11} x_1^2 + \dots + \beta_{mm} x_m^2 + \beta_{12} x_1 x_2 + \dots + \beta_{m-1,m} x_{m-1} x_m + \alpha_1 \zeta_1 + \alpha_2 \zeta_2 + \varepsilon; \quad (26)$$

$$Y = \beta_0 x_1^{\beta_1} x_2^{\beta_2} \dots x_m^{\beta_m} z \varphi_1^{\alpha_1} \varphi_2^{\alpha_2} + \varepsilon; \quad (27)$$

$$Y = \exp(\beta_0 + \dots + \beta_m x_m + \alpha_1 \psi_1 + \alpha_2 \psi_2) + \varepsilon, \quad (28)$$

МЕТОД ПРОГНОЗИРОВАНИЯ КОЛИЧЕСТВА ОБЪЕМОВ МЕТРОЛОГИЧЕСКОГО ОБСЛУЖИВАНИЯ ВОЕННЫХ СРЕДСТВ ИЗМЕРЕНИЙ НА ОСНОВЕ УСОВЕРШЕНСТВОВАННОЙ МНОГОФАКТОРНОЙ РЕГРЕССИОННОЙ МОДЕЛИ

Ю.И. Шевяков

В статье предложен метод прогнозирования количества объемов метрологического обслуживания военных средств измерительной техники образцов ВВТ, основанный на использовании усовершенствованных многофакторных регрессионных моделей.

Ключевые слова: метрологическое обслуживание, регрессионная модель, факторы, фиктивные переменные.

METHOD OF FORECASTING THE NUMBER OF VOLUMES METROLOGICAL SERVICE OF MEASURING INSTRUMENTS MILITARY BASED IMPROVED MULTIVARIATE REGRESSION MODELS

Yu.I. Sheviakov

In the article the method of forecasting the volume metrology military service of measuring instruments weapons and equipment based on the use of advanced multivariate regression models.

Keywords: metrological service regression model, factors dummies.

Висновки

1. В статті запропонований метод прогнозування кількості військових засобів виміральної техніки зразків ОВТ, заснований на використанні багатфакторних регресійних моделей.

2. Удосконалені багатофакторні регресійні моделі прогнозування кількості ВЗВТ для метрологічного обслуговування, в яких крім кількісних факторів, що враховують кількість зразків ОВТ кожного виду, додатково введений якісний фактор, що враховує можливий стан військової ситуації (мирний час, АТО, воєнний час). Вплив якісного фактору враховується за рахунок використання фіктивних змінних.

3. Для отримання незміщених оцінок параметрів нелінійних регресійних моделей запропоновано на відміну від застосування методів лінеаризації моделей використовувати методи оптимізації із застосуванням програмного забезпечення ПЕВМ.

Список літератури

1. Кузнецов І.Б. Організація метрологічного забезпечення військ (сил). Ч. 1 / І.Б. Кузнецов, П.М. Яблонський. – К.: НУОУ, 2009. – 356 с.
2. Наказ заступника Міністра оборони з озброєння – начальника Озброєння ЗС України “Про затвердження Керівництва з організації та порядку експлуатації виміральної техніки у ЗС України” від 1.06.2001 № 79.
3. Наказ начальника Центрального управління метрології і стандартизації “Про затвердження Керівництва з організації виробничої діяльності військових метрологічних лабораторій в Міністерстві оборони України та Збройних Силах України” від 14.05.2007 № 2.
4. Кремер Н.Ш. Эконометрика / Н.Ш. Кремер, Б.А. Путко. – М.: ЮНИТИ-ДАНА, 2003. – 311 с.
5. Четыркин Е.М.. Статистические методы прогнозирования / Е.М. Четыркин – М.: Статистика, 1975. – 184 с.
6. Гельман В.Я. Решение математических задач средствами Excel / В.Я. Гельман. - М.: Питер, 2008. – 235 с.
7. Химмельблау Д. Прикладное нелинейное программирование / Д. Химмельблау. – М.: Мир, 1975. – 534 с.

Надійшла до редколегії 8.08.2016

Рецензент: д-р техн. наук, проф. В.Б. Кононов, Харківський національний університет Повітряних Сил імені І. Кожедуба, Харків.

УДК 621.314.7

И.В. Шостак, В.Н. Павленко, А.П. Собчак, О.И. Попова

Национальный аэрокосмический университет имени Н.Е. Жуковского «ХАИ», Харьков

ИНФОРМАЦИОННАЯ ТЕХНОЛОГИЯ АВТОМАТИЗАЦИИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ ПОДГОТОВКИ ВИРТУАЛЬНОГО ПРОИЗВОДСТВА ПРЕДПРИЯТИЯ

В статье предложено использование информационной технологии автоматизации технологической подготовки виртуального производства предприятия путем представления технологических процессов в форме агентов на основе программно-аппаратной компиляции, что даст возможность обеспечить информационную поддержку жизненного цикла выпускаемой продукции на этапе технологической подготовки производства тем самым автоматизируя процесс продуцирования агентов в зависимости от сложности и наукоемкости изделия.

Ключевые слова: виртуальное производственное предприятие (ВПП), жизненный цикл (ЖЦ), технологическая подготовка производства (ТПП), программируемая логическая интегральная схема (ПЛИС), лексический анализатор, синтаксический анализатор, рефлексивный агент.

Введение

Характерной особенностью постиндустриального общества является работа производственных предприятий в условиях ограниченности ресурсов [1], что в свою очередь определяет необходимость виртуализации производственных ресурсов.

Виртуальное производство – новый тип производства, не имеющий фиксированной организационной и территориальной структуры, в котором процесс создания информации для программно управляемого технологического оборудования и само-

го изготовления изделия, может быть распределен во времени и пространстве между многими предприятиями. Основная цель создания информационной технологии [2] автоматизации технологической подготовки виртуального производства предприятия (ВПП) является обеспечение информационной поддержки [3] жизненного цикла выпускаемой продукции на виртуальном производственном предприятии. В первую очередь отобразим жизненный цикл (ЖЦ) продукции виртуального производственного предприятия, как в графическом, так и формализованном виде (рис. 1).

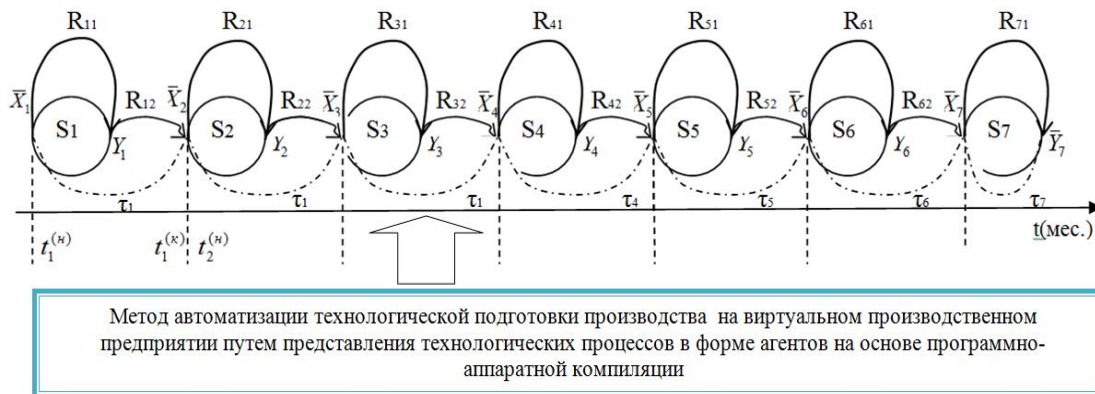


Рис. 1. Жизненный цикл продукции виртуального производственного предприятия

Жизненный цикл продукции состоит из 7-ми этапов таких как:

- маркетинг;
- проектирование изделия;
- подготовка производства;
- производство;
- реализация;
- эксплуатация;
- утилизация.

Концептуальная модель системы A имеет следующий вид:

$$\begin{aligned}
 A &= \langle S, \bar{X}, \bar{Y}, R, T \rangle, & (1) \\
 S &\subseteq (S_1 \cup S_2 \cup \dots \cup S_7), \\
 \bar{X}_i &= \{x_j\}, \quad \bar{Y}_i = \{y_k\}, \quad j = \overline{1,7}, \quad k = \overline{1,7}, \\
 R &\supset \{R_{11}\} \cup \{R_{n2}\}, \quad 1 = \overline{1,7}, \quad n = \overline{1,7}, \\
 &\{R_{11}\} \cap \{R_{n2}\} = \emptyset, \\
 T &= \{\tau_1, \dots, \tau_7\}, \quad \forall \tau_i \in T \left| \tau_i = [t_i^H, t_i^K], \right. \\
 &\forall \tau_i \in T \left| t_{i+1}^{(H)} = \tau_i; \quad S_{\tau_i} : R_{\tau_i} \rightarrow \bar{X}_{\tau_i} \right.
 \end{aligned}$$

В концептуальной модели ЖЦ продукции на ВПП использованы следующие обозначения:

S_1, \dots, S_7 - этапы жизненного цикла продукции;

\overline{X}_i - входные данные на соответствующем этапе жизненного цикла продукции;

\overline{Y}_i - выходные данные соответствующих этапов жизненного цикла продукции;

$t_i^{(H)}, t_i^{(K)}$ - моменты соответственно начала и окончание каждого этапа жизненного цикла;

R_{l_1} - преобразователь данных типа «операция - элемент» для l -того этапа ЖЦ;

R_{n_2} - преобразователь данных типа «элемент - элемент» для n -го этапа ЖЦ;

τ_1, \dots, τ_7 - временные интервалы длительности каждого этапа жизненного цикла продукции;

Одним из весомых этапов жизненного цикла продукции является технологическая подготовка производства, где концентрируется большинство ошибок, что приводит к рискам выпуска бракованной продукции и поэтому автоматизация данного этапа позволяет не только их минимизировать, но и увеличить экономическую эффективность, уменьшая при этом длительность цикла выпуска изделий.

Выделим все входные и выходные данные на каждом этапе ЖЦ на ВПП (табл. 1).

Таблица 1

Входные и выходные данные на каждом этапе жизненного цикла

№	Вход	Выход
1	$\overline{X}_1 = \{x_1^1, \dots, x_n^1\}$ - множество потенциальных клиентов	$\overline{Y}_1 = \{y_1^{(1)}, \dots, y_n^{(1)}\}$ - множество заявок на изготовление j -го вида оборудования
2	$\overline{X}_2 = \{x_1^2, \dots, x_n^2\}$ - множество заказов на изготовление m -количества j -го вида оборудования	$\overline{Y}_2 = \{y_1^{(2)}, \dots, y_n^{(2)}\}$ - конструкторско-технологическая документация
3	$\overline{X}_3 = \{x_1^3, \dots, x_n^3\}$ - технологические маршрутные карты	$\overline{Y}_3 = \{y_1^{(3)}, \dots, y_n^{(3)}\}$ - производственные агенты для изготовления j -го вида оборудования
4	$\overline{X}_4 = \{x_1^4, \dots, x_n^4\}$ - цифровые управляющие программы прошивки ПЛИС процессов станка с ЧПУ	$\overline{Y}_4 = \{y_1^{(4)}, \dots, y_n^{(4)}\}$ - множество изготовленных узлов и деталей
5	$\overline{X}_5 = \{x_1^5, \dots, x_n^5\}$ - конструкторско-технологическая документация сборки изделия	$\overline{Y}_5 = \{y_1^{(5)}, \dots, y_n^{(5)}\}$ - множество изготовленного оборудования j -того вида
6	$\overline{X}_6 = \{x_1^6, \dots, x_n^6\}$ - установка оборудования	$\overline{Y}_6 = \{y_1^{(6)}, \dots, y_n^{(6)}\}$ - сервисное обслуживание
7	$\overline{X}_7 = \{x_1^7, \dots, x_n^7\}$ - множество заказов на утилизацию	$\overline{Y}_7 = \{y_1^{(7)}, \dots, y_n^{(7)}\} - \emptyset$

В данной статье для достижения поставленной цели предлагается применение метода автоматизации технологической подготовки производства на виртуальном производственном предприятии путем представления технологических процессов в форме агентов на основе программно-аппаратной компиляции [4], который в свою очередь реализует принцип диверсности производства рассматриваемого профиля и предусматривает выполнение семи основных этапов.

1. Лексический анализ технологической документации на изделие.

2. Синтаксический анализ результатов, полученных на предыдущем шаге.

3. Декомпозиция результатов второго шага на совокупность информационных таблиц (символов, констант и других).

4. Генерация кода исходных программ. Каждая строка кода представляет собой триаду из операции, операндов, над которыми выполняется операция, и номера триады.

5. Сжатие полученного кода, с применением языков аппаратного описания AHDL и VHDL. Результатом данного шага является объектные целевые программы (ОЦП) конфигурации ПЛИС для изготовления деталей данного изделия. ОЦП представляют собой агенты

6. Передача по телекоммуникационным каналам объектных целевых программ (ОЦП) соответствующим субподрядчикам. ОЦП представляют собой программные агенты, перемещающиеся в гипермедийной среде.

7. Реконфигурация, на основе ОЦП, центральных процессоров АСУ ТП соответствующих субподрядчиков. Приобретение ОЦП программно-аппаратной природы в форме ПЛИС [5].

В случае аппаратной реализации компилятором является узел, выполняющий преобразование исходных данных в целевую исполняемую программу, сохраняя при этом эквивалентность исходных данных.

Применение программно-аппаратной компиляции позволит повысить быстродействие, снизить количество ошибок и стоимостные показатели изделия на этапе технологической подготовки и его производства.

Решение данной проблемы приведет к коренному изменению облика ныне существующих технологических и алгоритмических средств проектирования систем, значительно повысит эффективность использования новейших технологий.

Таким образом, первоочередной задачей является выделить фазы компиляции (рис. 2), отобразить логические части компилятора (рис. 3) [4], а также выделить основные составляющие постановки задачи синтеза программно-аппаратного компилятора

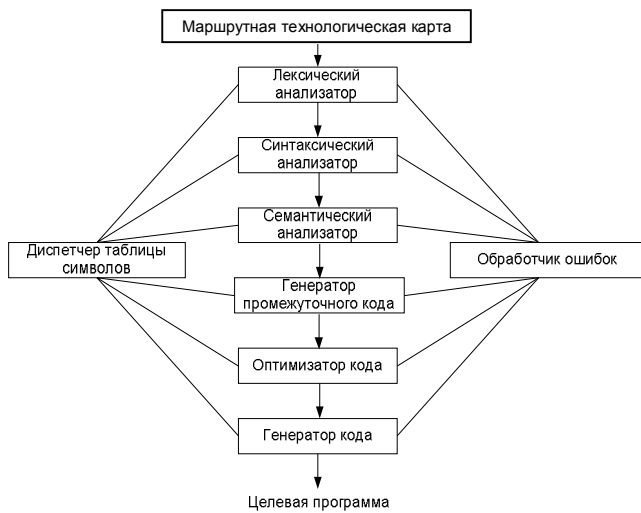


Рис. 2. Фазы компиляции

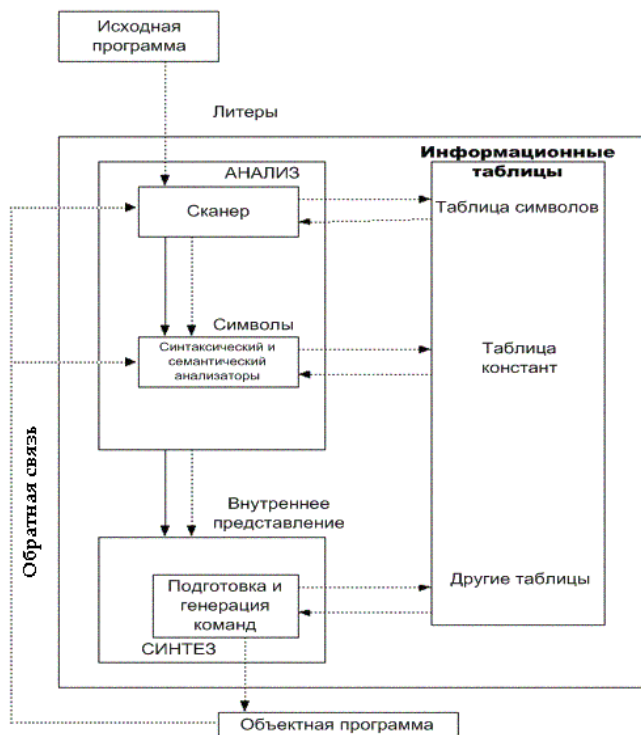


Рис. 3. Логические части компилятора

Результаты исследований

В ходе разработки метода применен такой математический аппарат как:

- теория мультиагентных систем компьютерной инженерной деятельности Евгеньева Г.Б.;
- теория сложных реактивных гибридных систем Пнуели А.;
- теория цифровой обработки сигналов Рабинера Л., Гоулда Б.;
- теория алгебр регулярных событий Глушков В. М.

Постановка задачи синтеза программно-аппаратного компилятора:

Пусть $G_0 = \langle N, S, T, H \rangle$ – формальная грамматика, порождающая произвольный формальный

язык $L(G_0)$. Рекурсивным автоматом с программируемой логикой называется структура

$$A = \{A_1, B_1, X, Y, \delta, a_1, S, G_0, F^*(A_1), Z\}, \quad (2)$$

где $A_1 = \{a_i / i = \overline{1, g}\}$ – множество состояний УС; $a_1 \in A_1$ – начальное состояние УС; B_1 – множество состояний ОС; $X = \{x_m / m = \overline{1, M}\}$ – множество входных лексических сигналов УС, δ – некоторая функция отображения множеств, зависящая от A_1, Σ, N , где Σ – терминальный алфавит, N – нетерминальный алфавит грамматики G_0 , имеющей аксиому T и схему вывода H ; $F^*(A_1)$ – подмножество заключительных состояний УС; S – множество синхронных терминалов; Z – информационная компонента функции выходов ОС.

Структура (2) соответствует моделям конечных и магазинных автоматов. Для задания такого соответствия между (2), а также линейно ограниченными автоматами и машинами в эту структуру необходимо ввести символы, отражающие специфику их функционирования. Данное отличие является существенным и требует нового конструктивного подхода к синтезу компиляторов.

Элементной базой РАПЛ являются обычные микросхемы, которые выпускаются промышленностью. Совокупность этих микросхем, организованная особым специальным образом, составляет РАПЛ, абстрактной моделью которого служит композиция управляющей и операционной структур (рис. 4) [4]:

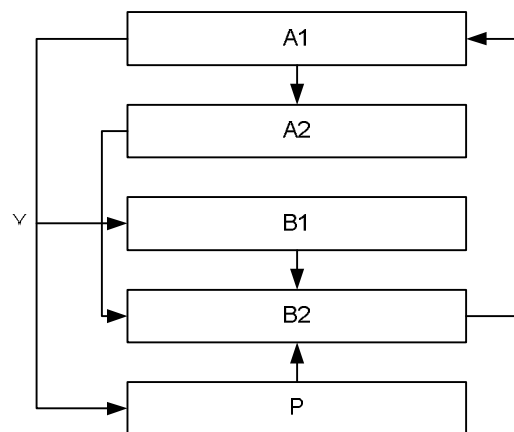


Рис. 4. Структура РАПЛ:

A – управляющая структура (УС);
B – операционная структура (ОС).

Представим систему в алгебраическом виде:

$$P_1 = \{c\}^+ \vee \{(Q_1 \vee Q_2) \Pi_2 (* \vee + -)\}^+ \vee \Pi_2 \{d\}; \quad (3)$$

$$Q_1 = \Pi \vee \{ \{(Q_4 \vee Q_5 \vee Q_6 \vee Q_7) \Pi_3 (\dots \vee,)\} \vee \Pi_3 \}.$$

Запишем найденные выражения посредством ДФ в АРЕКС:

$$\begin{aligned}
 S_1 &= cS_1 \vee Q_1 \Pi_2 \vee Q_2 \Pi_2 ; \\
 \Pi_2 &= *S_1 \vee +S_1 \vee -S_1 \vee \Pi_2 d \vee \Pi_2 ; \\
 Q_1 &= [] \vee [\{ (Q_4 \vee Q_5 \vee Q_6 \vee Q_7) \Pi_3 (\dots \vee ,) \} \vee \Pi_3]
 \end{aligned}
 \tag{4}$$

Подставив Q_1 в S_1 получим:

$$\begin{aligned}
 S_1 &= cS_1 \vee [S_2 \vee Q_2 \Pi_2] ; \\
 \Pi_2 &= *S_1 \vee +S_1 \vee -S_1 \vee \Pi_2 d \vee \Pi_2 ; \\
 S_2 &=]\Pi_2 \vee Q_4 \Pi_3 \vee Q_5 \Pi_3 \vee Q_6 \Pi_3 \vee Q_7 \Pi_3 ; \\
 \Pi_3 &= ..S_2 \vee , S_1 \vee]\Pi_2 ,
 \end{aligned}
 \tag{5}$$

где S, Π – нетерминалы ДФ, Q – нетерминалы языка программирования.

Преобразуем (5) в ДФ на языке Р-СИАА:

$$\begin{aligned}
 S_1 &= (R_1 S_1 \vee (R_2 S_2 \vee N)) \vee Q_2 \Pi_2 ; \\
 &\quad \alpha_1 \quad \alpha_2 \\
 &\quad c \quad [\\
 \Pi_2 &= (R_3 S_1 \vee (R_4 S_1 \vee (R_5 S_1 \vee (R_6 \Pi_2 \vee \Pi_2)))) ; \\
 &\quad \alpha_3 \quad \alpha_4 \quad \alpha_5 \quad \alpha_6 \\
 &\quad * \quad + \quad - \quad d \\
 S_2 &= (R_7 \Pi_2 \vee N) Q_4 \Pi_3 \vee Q_5 \Pi_3 \vee Q_6 \Pi_3 \vee Q_7 \Pi_3 ; \\
 &\quad \alpha_7 \\
 &\quad] \\
 \Pi_3 &= (\dots R_8 S_2 \vee (R_9 S_2 \vee (R_{10} \Pi_2 \vee N))) , \\
 &\quad \alpha_8 \quad \alpha_9 \quad \alpha_{10} \\
 &\quad .. \quad , \quad]
 \end{aligned}
 \tag{6}$$

где нетерминалы Q должны быть уточнены на последующих этапах конструирования компилятора; с условиями α сопоставлены терминалы языка, причем «с» соответствует открывающей скобке, а «d» - закрывающей скобке языка Паскаль; $R_1 - R_2$ — это термы, с помощью которых в компиляторе производится обработка сопоставляемых с ними терминалов.

Ниже представлена синтезированная функциональная модель программно-аппаратного компилятора (рис. 5) [4].



Рис. 5. Синтез функциональной модели

Одним из преимуществ комплекса является независимость суммарной информации от объема оперативной памяти, так как уравнения обрабаты-

ваются по одному. Преобразование и вывод результатов происходят в режиме диалога.

Одной из логических частей компилятора является лексический анализатор построено преобразующий записи маршрутной технологической карты в таблицу информационных констант, и состоящий из блока управления, информационного ОЗУ и ПИ2 (параллельный интерфейс). Синтезированный укрупненный алгоритм управления в виде детерминированной функции представлен на рис. 6 [6].

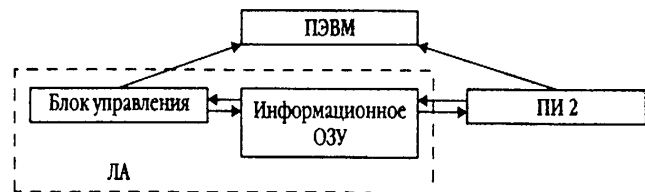


Рис. 6. Структура лексического анализатора

Укрупненный алгоритм управления анализатором в ДФ:

$$\begin{aligned}
 P_1 &= Y_1 P_2 ; \\
 P_2 &= (Y_2 P_3 \vee Y_8 P_4) ; \\
 &\quad x_1 \\
 P_3 &= (S_3 \vee P_6 ;] ; \\
 &\quad x_3 \\
 P_4 &= (S_5 P_2 \vee P_6) ; \\
 &\quad x_2 \\
 P_6 &= ((S_1 \vee S_2) \vee (P_1 \vee (P_5 \vee S_4 P_2))) , \\
 &\quad x_3 \ x_4 \quad x_6 \quad x_7
 \end{aligned}
 \tag{7}$$

где S_1, S_2, S_3, S_4, S_5 - нетерминалы, обозначающие алгоритмы реализации этапов 1, 2, 3, 4, 5 анализа соответственно; наличие сформированного кода лексем на информационном выходе устройства – $Y_1 = \{Y_1, Y_2, Y_3, Y_4, Y_5, Y_6\}$; $Y_2 = \{Y_7, Y_9\}$, Y_{17} .

На втором шаге предлагаемого метода производится синтаксический анализ маршрутной технологической карты. На этом этапе определяется отношение между полученным в ходе лексического анализа константами, получая при этом информационную таблицу отношений. На рис. 7 отображена структура аппаратных средств синтаксического анализатора [7].

Семантический анализ программы, в ходе которого формируется его триадная форма вида:

$$I F_1 \Theta F_2, \tag{8}$$

где Θ – операция; F_1 и F_2 – операнды, над которыми выполняется операция Θ ; I – номер строки в триадной форме, или номер триады.

Триадная форма облегчает сбор сведений о связях в программе и упрощает анализ нарушения свойств линейности и структурности выполняемой программы. Кроме того, с учетом информационных связей в процессе генерации кода можно обеспечить

распараллеливание триад в соответствии с правилами Р-СИИА.

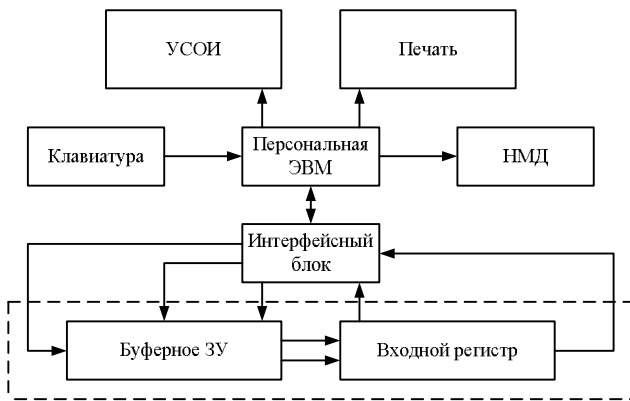


Рис. 7. Структура аппаратных средств синтаксического анализатора

В рассматриваемом макете аппаратных средств в триадную форму преобразуются только выполняемые инструкции входного языка.

Применительно к стандарту языка программирования триадная форма базового набора инструкции приведена в табл. 2, где IF, GOTO, STOP, END - операторы языка программирования; A, B - операнды; A — переменная; M - метка; # - символ, введенный для обозначения конца выражения; ⊙ - отношения вида .GT., .GE., .LT., .LE., .EQ., .NE.; ⊗ - арифметическая или логическая операция; ⊕ - унарная арифметическая или логическая операция; <I_k(n)> = I - признак, который определяет номер строки в триаде (если стоит перед первым оператором) и ссылку на триаду (если стоит в триаде на месте одного из операндов); ∅ — пустая лексема, введенная для задания постоянного формата в триадной форме; <T> — системная переменная, используемая при анализе инструкций, содержащих метку, в частности, когда в инструкции встречаются ссылки на еще не анализированные инструкции [7].

$$\begin{aligned}
 P_1 &= (\underset{x_{11}}{y_{11}P_1} \vee (\underset{x_{12}}{y_{12}P_2} \vee \dots \vee (\underset{x_{1j}}{y_{1j}P_j} \vee \dots \vee (\underset{x_{1,g+1}}{y_{1,g+1}P_{g+1}} \vee N) \dots))); \\
 P_2 &= (\underset{x_{21}}{y_{21}P_2} \vee (\underset{x_{22}}{y_{22}P_2} \vee \dots \vee (\underset{x_{2j}}{y_{2j}P_j} \vee \dots \vee (\underset{x_{2,g+1}}{y_{2,g+1}P_{g+1}} \vee N) \dots))); \\
 &\dots \\
 P_g &= (\underset{x_{g1}}{y_{g1}P_1} \vee (\underset{x_{g2}}{y_{g2}P_2} \vee \dots \vee (\underset{x_{gj}}{y_{gj}P_j} \vee \dots \vee (\underset{x_{g,g+1}}{y_{g,g+1}P_{g+1}} \vee N) \dots))).
 \end{aligned}
 \tag{9}$$

Для преобразования данной ДФ в языке Паскаль необходимо:

1. Запрограммировать на языке Паскаль элементарные термы $y_{ij}(i = \overline{1, g}; j = \overline{1, g+1})$ и оформить их в виде процедур. В этом случае имена x_{ij} будут служить обращениями к процедурам.
2. Запрограммировать на языке Паскаль элементарные логические условия x_{ij} и оформить их в

Триадная форма базового набора инструкций

Информация, поступающая во входной регистр	Информация, поступающая в выходной регистр
IF (A⊙B) GOTO M	<I _n > A⊙B <I _{n+1} ><I _k >IF<I _n >или<I _{n+1} ><T>IF<I _n >
GOTO M	<I _n ><I _k >GOTO ∅ или <I _n ><T>GOTO ∅
STOP	<I _n > STOP ∅
END	<I _n > STOP ∅
A⊙B	<I _n > A⊙B
⊕B	<I _n > ∅⊙B
(A⊙B)	<I _n >A⊙B
F=A⊙B#	<I _n >A⊙B <I _{n+1} >F=<I _n >
F=⊕B#	<I _n >∅ ⊙B <I _{n+1} >F=<I _n >

Электронный компилятор может быть использован в составе эмулятора языков алгоритмической алгебры (АА) при условии генерации выходного кода на базовый язык Паскаль. Вместо этого языка может быть выбран любой другой язык, реализованный на ПК. Именно для новых языков эмуляция имеет более важное значение, чем для тех, которые уже реализованы.

Поэтому ниже покажем, как в реальных практических условиях можно быстро разработать эмулятор языков АА и создать эффективную технологию программирования с надлежащими свойствами. Пусть в качестве входного языка эмулятора применяется ДФ алгоритма в Р-СИИА.

в виде функций. В этом случае имена x_{ij} будут служить обращениями к функциям.

3. Задать интерпретацию $P_i(i = \overline{1, g})$ посредством меток.
4. Оформить по правилам языка Паскаль раздел описания переменных для ДФ (9).

Таким образом представлена постановка задачи, исходные данные с применением Р-СИИА ал-

гебры и этапы синтеза управляющего кода в результате чего получена детерминированная функция определяющая функционирование программно-аппаратного компилятора.

Реализация задачи анализа детерминированная функция (ДФ).

Для решения двух последних задач каждое уравнение ДФ (9) представим в виде:

$$P_i = x_{i1} ?(y_{i1}P_1 \vee x_{i2} ?(y_{i2}P_2 \vee \dots \vee x_{i,g+1} ?(y_{i,g+1}P_{g+1} \vee N)\dots)), \quad (10)$$

где $i = \overline{1, g}$; знак ? является разделителем между логическим условием и левой скобкой оператора; x - дизъюнкция.

После этого строим г-событие, порождающее язык ДФ:

$$S = \{H = (\{S_3 ?c\}^+ \vee \{((Y \vee E)(*\vee e)P \vee N)\Pi_1 \vee\}^+ \vee \vee \Pi_1 \{d\} ; \vee e \vee,))\} \#; \quad (11)$$

$$S_3 = \{\neg\}^+ \vee \{c\}^+ \vee \{X\Pi_2(\vee \vee \wedge)\}^+ \vee \Pi_2 \{d_1\};$$

где $c_1 = c = (; d = d_1 =); S_3$ порождает язык логических выражений; S - разнообразные виды ДФ; \vee - символ дизъюнкция в г-событии; = - знак равенства в г-событии; «;», «,» - разделители, записанные в конце каждого уравнения ДФ; e - пустая цепочка, отражающая факт отсутствия разделителя в конце уравнения; * - символ произведения в $u_{ij} * P_j$, вместо которого можно применить символ e, т. е. пробел; E, N - соответственно тождественный и неопределенный операторы; Π_1, Π_2 - указатели переходов; # — конечный символ системы.

Система уравнений в АРЕКС для г-события для построения на языке Р-СИИА алгоритма компиляции ДФ:

$$\begin{aligned} S &= PS_4; \\ S_4 &= S_1; \\ S_1 &= S_3 \vee P\Pi_1 \vee YS_5 \vee ES_5 \vee N\Pi_1; \\ S_5 &= *S_6 \vee S_6; \\ S_6 &= P\Pi_1; \\ \Pi_1 &= \vee S_1 \vee d\Pi_1; S \vee, S \vee, S \vee \#; \\ S_3 &= \neg S_3 \vee c_1 S_3 \vee x\Pi_2; \\ \Pi_2 &= \vee S_3 \vee \wedge S_3 \vee d\Pi_2 \vee ?S_7; \\ S_7 &= cS_1. \end{aligned} \quad (12)$$

Кодируем терминалы в (12) наборами значений логических условий β и доопределяем их термами Q, обрабатывающими соответствующие исходные данные.

В результате находим ДФ алгоритма в Р-СИИА, определяющего функционирование требуемого компилятора:

$$\begin{aligned} S &= (Q_1 S_4 \vee N); \quad S_4 = (Q_2 S_4 \vee N); \\ &\quad \beta_1 \quad \beta_2 \\ &\quad P \quad = \\ S_1 &= (Q_3 n_1 \vee (Q_4 S_5 \vee (Q_5 S_5 \vee (Q_6 n_1 \vee S_3))))); \\ &\quad \beta_1 \quad \beta_3 \quad \beta_4 \quad \beta_5 \\ &\quad P \quad Y \quad E \quad N \\ S_5 &= (Q_7 S_6 \vee S_4); \quad S_6 = (Q_3 n_1 \vee N); \\ &\quad \beta_6 \quad \beta_1 \\ &\quad P \\ \Pi_1 &= (Q_8 S_1 \vee (Q_9 n_1 \vee (Q_{10} S \vee (Q_{12} S \vee S)\dots))); \\ &\quad \beta_7 \quad \beta_8 \quad \beta_9 \quad \beta_{10} \\ &\quad \vee \quad d \quad ; \quad \# \\ S_3 &= (Q_{13} S_3 \vee (Q_{14} S_3 \vee (Q_{15} n_2 \vee N))); \quad (13) \\ &\quad \beta_{12} \quad \beta_{16} \quad \beta_{14} \\ &\quad | \quad c_1 \quad X \\ \Pi_2 &= (Q_{16} S_3 \vee (Q_{17} S_3 \vee \\ &\quad \beta_{15} \quad \beta_{16} \\ &\quad \vee \quad \wedge \\ &\quad \vee (Q_{18} n_2 \vee (Q_{19} S_7 \vee N)\dots))); \\ &\quad \beta_{17} \quad \beta_{18} \\ &\quad d_1 \quad ? \\ S_7 &= (Q_{20} S_1 \vee N). \\ &\quad \beta_{19} \\ &\quad c \end{aligned}$$

За оптимизацию кода в программно-аппаратном компиляторе отвечает блок сжатия управляющей информации [8]. В настоящей статье предлагается иной подход к сжатию информации исходя из структурных свойств управляющей информации, представленной в рекурсивном виде.

Пусть задан язык Д(Ф) арифметических выражений, порождаемый следующим г-событием:

$$R = \{ca(+\vee *)ad\} \#, \quad (14)$$

где $c = (; d =); a$ - операнд; +, * - знаки операций сложения и умножения соответственно; # — конечный символ; < c, d > - синхронные терминалы.

Алгоритм обработки заданного г-события на языке Р-СИИА. Для этого введем указатель перехода, закодируем терминалы наборами значений логических условий и доопределим их термами Q. В результате получим протокол работы устройства:

$$\begin{aligned} P &= \{ Q_1 \overline{\alpha_1 Q_6} \Pi_2 (Q_2 \vee (Q_3 \vee N)) \\ &\quad \alpha_1 \quad \alpha_2 \quad \alpha_3 \\ &\quad c \quad a \quad + \quad * \\ &\quad \Pi_2 \overline{\alpha_2 \alpha_3 \alpha_4} Q_4 \} * \overline{\alpha_2 \alpha_3 \alpha_4} \alpha_5 Q_5. \\ &\quad d \quad \# \end{aligned} \quad (15)$$

Важной характеристикой любого компилятора является коэффициент его использования $K_{И}$:

$$K_{И} = \frac{K_{ЛП}}{K_{ЛК}}, \quad (16)$$

где $K_{ЛП}$ – количество различных лексем в обрабатываемой программе; $K_{ЛК}$ – количество различных лексем в компиляторе.

Коэффициент сжатия:

$$k = 1 - \frac{V_{сж}}{V}, \quad (17)$$

где $V_{сж}$ – объем сжатой информации; V – объем сгенерированной программы без сжатия.

Результатом работы программно-аппаратного компилятора является объектная целевая программа

конфигурации программируемой логической интегральной схемы (ПЛИС) для изготовления деталей изделия. Каждая из таких программ является рефлексивным агентом [9].

Схема продуцирования и распределения агентов для их дальнейшей передачи по телекоммуникационным каналам к соответствующим субподрядчикам [10] представлена на рис. 7.

В табл. 3 представлена спецификация агентов в зависимости от видов и подвидов технологического оборудования.

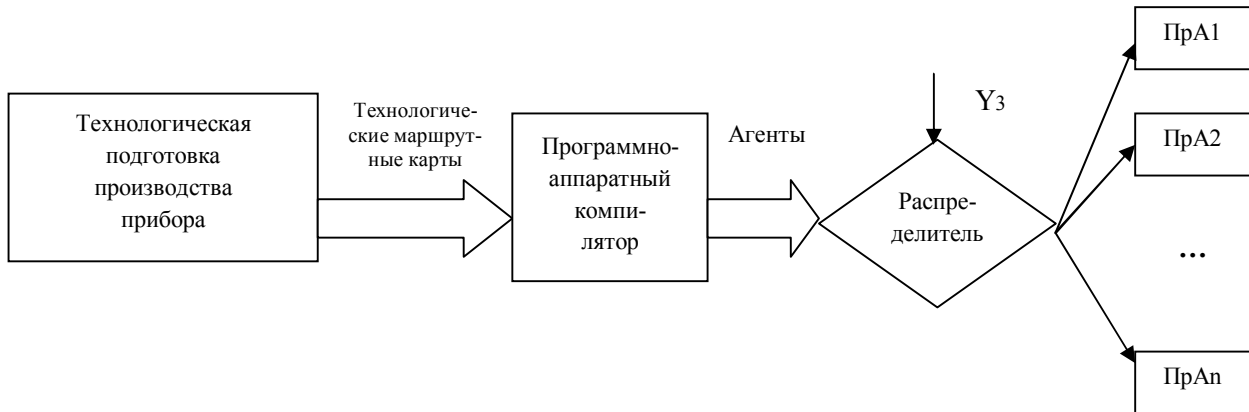


Рис. 7. Построение мультиагентной системы информационной поддержки на этапе ЖЦ продукции ТПП производства на ВПП

Таблица 3

Спецификация агентов

Виды оборудования	Подвиды оборудования согласно технологической подготовке производства	Управляющий агент
Металлорежущие	Токарные	A11
	Сверлильные и расточные	A12
	Шлифовальные, полировочные, доводочные, заточные	A13
	Комбинированные, электро-химико-физические	A14
	Зубо- и резьбо обрабатывающие	A15
	Фрезерные	A16
	Строгальные, долбежные, протяжные	A17
	Разрезные	A18
Изготовление печатных плат	Травления печатных плат	A21
	Изготовления фотошаблонов и последующего экспонирования	A22
	Подготовки заготовок, зачистка и обработка по всему контуру платы	A23
	Сверления и фрезерования заготовок печатных плат	A24
	Обеспыливания и антистатической обработки заготовок	A25
	Ламинирования	A26
	Экспонирования	A27
	Скрайбирования заготовок плат	A28
	Металлизации переходных отверстий	A29
	Прессования	A210
Гибочно-формовочное и раскройное	Листогибочные	A31
	Лазерно-гравировальные	A32
	Лазерные	A33
Сварочное	Термические	A41
	Термомеханические	A42
	Механические	A43

Таким образом, применение описанного метода, позволяет уже на этапе технологической подготовки производства по имеющейся конструкторско-технологической документации автоматизировать процесс путем компиляции маршрутных технологических карт изготовления деталей в цифровую управляющую программу прошивки программируемых логических интегральных схем для станков с ЧПУ, тем самым минимизировать риски, уменьшить время производства, увеличить эффективность в условиях ограниченности ресурсов на виртуальном производственном предприятии.

Выводы

Предложенная информационная технология автоматизации технологической подготовки производства на виртуальном производственном предприятии, даст возможность декомпозировать технологический процесс на ряд компонентов, представить эти компоненты в аппаратном виде и направить их выбранным на предыдущем этапе субподрядчикам для выполнения производственных заказов, сохраняя при этом «НОУ-ХАУ» изделия, технологический капитал предприятия в целом.

Список литературы

1. Собчак А.П. Основи виробництва радіоелектронної апаратури / А.П. Собчак; Харків: Нац. аерокосм. ун-т ім. М. Є. Жуковського «ХАІ»; видавець Іванченко І.С., 2014. – 284 с.
2. Собчак А.П. Аналіз існуючих моделей і методів побудови інтелектуальних систем збору і обробки інформації / А.П. Собчак, О.С. Альошина // Високі технології в машинобудуванні: зб. наук. пр. / Нац. техн. ун-т «ХПІ». – Харків, 2013. – Вип. 1 (23). – С. 187-203.
3. Sobchak A. Developing approaches to team building performers high-tech projects on virtual instrument-making enterprises / A. Sobchak, T. Tseplyaeva, I. Shostak, O. Popova // *Восточно-Европейский журнал передовых технологий*. – 2016. – № 6/1 (83). – С. 37–56.
4. Собчак А.П. Проблеми створення апаратного компілятора елементарних математичних функцій / В.М. Ілюшко, А.П. Собчак, К.В. Ходарев, Н.Д. Смирнов // *Авіаційно-космічна техніка і технологія*. – 2005. – №7 (23). – С. 294-303.
5. Собчак А.П. Розробка цифрових пристроїв на базі програваних логічних інтегральних схем / А.П. Собчак, А.М. Марченко // *Інформаційно-керуючі системи на залізничному транспорті*. – 2002. – № 6. – С. 57-61.
6. Собчак А.П. Реалізація лексичного аналізатора мовою апаратного опису / А.П. Собчак, А.М. Марченко, К.В. Ходарев // *Відкриті інформаційні та комп'ютерні інтегровані технології: зб. научн. тр. / Нац. аерокосм. ун-т ім. М. Є. Жуковського «ХАІ»*. – Х.: НАКУ «ХАІ», 2004. – Вип. 23. – С. 116-121.
7. Собчак А.П. Реалізація моделі синтаксичного аналізатора мовою апаратного опису / А.П. Собчак, К.В. Ходарев // *Відкриті інформаційні та комп'ютерні інтегровані технології: зб. научн. тр. / Нац. аерокосм. ун-т ім. М. Є. Жуковського «ХАІ»*. – Х.: НАКУ «ХАІ», 2004. – Вип. 25. – С. 90-93.
8. Собчак А.П. Апаратна реалізація пристрою стиснення керуючої інформації на програваних логічних інтегральних схемах / А. П. Собчак, М.Д. Смирнов // *Радіоелектронні і комп'ютерні системи*. – Х., 2005. – № 3 (11). – С. 34-39.
9. Собчак А.П. Разработка гибридной модели формирования координирующих решений при реализации производственного процесса на приборостроительных предприятиях / А.П. Собчак, И.В. Шостак, Л.В. Шабанова-Кушнарченко // *Технологический аудит и резервы производства*. – 2016. – № 2/6(28). – С. 18 -24.
10. Собчак А.П. Інформаційна технологія синтезу інтегрованої системи підтримки прийняття рішень на виртуальному приборостроительному підприємстві / А.П. Собчак, І.В. Шостак // *Науковий журнал «ScienceRise»*. – 2016. – № 3/2(20). – С. 54-58.

Надійшла до редколегії 11.09.2016

Рецензент: д-р техн. наук, проф. О.Є. Федорович, Національний аерокосмічний університет імені М.Є. Жуковського «ХАІ», Харків.

ІНФОРМАЦІЙНА ТЕХНОЛОГІЯ АВТОМАТИЗАЦІЇ ТЕХНОЛОГІЧНОЇ ПІДГОТОВКИ ВІРТУАЛЬНОГО ВИРОБНИЦТВА ПІДПРИЄМСТВА

I.V. Shostak, V.M. Pavlenko, A.P. Sobchak, O.I. Popova

У статті запропоновано використання інформаційної технології автоматизації технологічної підготовки віртуального виробництва підприємства шляхом подання технологічних процесів в формі агентів на основі програмно-апаратної компіляції, що дасть можливість забезпечити інформаційну підтримку життєвого циклу продукції, що випускається на етапі технологічної підготовки виробництва тим самим автоматизуючи процес продукування агентів в залежності від складності і наукоємності виробу.

Ключові слова: віртуальне виробниче підприємство, життєвий цикл, технологічна підготовка виробництва, програмована логічна інтегральна схема, лексичний аналізатор, синтаксичний аналізатор, рефлексивний агент.

INFORMATION TECHNOLOGY AUTOMATION TECHNOLOGY PREPARATION OF VIRTUAL ENTERPRISE

I.V. Shostak, V.M. Pavlenko, A.P. Sobchak, O.I. Popova

The article proposed the use of information technology automation of technological preparation of virtual enterprise production through the presentation of technological processes in the form of agents on the basis of hardware and software compilation, which will give an opportunity to provide information support to the life cycle of the products at the stage of technological preparation of production thereby automating the process for producing the agents according to the complexity and high technology products.

Keywords: virtual manufacturing enterprise life cycle, production planning, programmable logic integrated circuit, the lexical analyzer, parser, reflective agent.

Запобігання та ліквідація надзвичайних ситуацій

УДК 331.453:613.155

С.В. Сукач¹, В.М. Гусев², Р.М. Левківський²

¹Кременчуцький національний університет імені Михайла Остроградського, Кременчук

²Херсонська державна морська академія, Херсон

ДОСЛІДЖЕННЯ ДИНАМІКИ АЕРОІОННОГО СКЛАДУ ПОВІТРЯ НАВЧАЛЬНИХ ПРИМІЩЕНЬ

Проведено вимірювання концентрації аеронів обох знаків у навчальних приміщеннях. Результати свідчать, що зниження концентрації аероіонів відбувається упродовж дня з різними закономірностями для комп'ютерних та інших аудиторій. Встановлені аномальні концентрації аероіонів позитивної полярності, джерело яких не з'ясоване.

Ключові слова: концентрація аероіонів, іонізація повітря.

Вступ

Концентрації аероіонів обох знаків у повітрі приміщень є важливим показником якості виробничого середовища. Тому дослідженням щодо їх фактичних значень та динаміки змін під впливом технологічного обладнання та інших фізичних факторів навколишнього середовища приділяється багато уваги як гігієністами, так і фахівцями з охорони праці [1, 2].

Відомо, що вплив на цей вагомий показник повітряного середовища технічних засобів (комп'ютерного, електротехнічного обладнання) та мікрокліматичних параметрів (відносної вологості, температури повітря) неоднозначний [3, 4]. Крім того, експериментальні дослідження довели неоднозначність існуючого стандартного підходу щодо процесів генерації та рекомбінації аероіонів, при якому не враховується: склад хімічних речовин та аерозолів повітряного середовища; глибинний зв'язок усіх фізичних факторів середовища між собою та суттєвий перерозподіл концентрацій аероіонів під впливом електромагнітного поля. [5, 6].

Усе це потребує додаткових досліджень щодо формування концентраційного поля аероіонів за комплексного впливу мікрокліматичних показників на процеси їх генерації та рекомбінації.

Особливістю навчальних приміщень є постійна зміна кількості людей та великої кількості електротехнічного і електронного навчального обладнання (наприклад, персональних комп'ютерів), які розташовані на межі санітарної норми. До того ж, вдосконалення технічних засобів змінює їх вплив на процеси іонізації (деіонізації) повітря.

С урахуванням вищевикладеного доцільним є проведення натурних вимірювань протягом навчальної зміни, що надасть змогу визначити критичні впливи на концентрації аероіонів та визначити заходи з їх нормалізації.

Мета роботи – дослідити зміни концентрації аероіонів у навчальних приміщеннях, з'ясувати причини таких змін і визначити шляхи підтримання цього показника на нормативному рівні.

Результати досліджень

Вимірювання концентрацій аероіонів обох полярностей виконувалися повіреним лічильником аероіонів Сапфір 3К.

Враховуючи його велику паспортну похибку вимірювань (до 3дБ), проводилися серії з 24 вимірювань з обробкою даних за методикою, наведеною у [8], що забезпечувало максимальну достовірність отриманих результатів.

Проведено експериментальні дослідження за межами приміщень (вулиця), у комп'ютерному класі (протягом навчального дня) і у аудиторіях без технічних засобів (протягом навчального дня). Це обумовлене необхідністю визначення впливу мікрокліматичних показників навчальних приміщень на концентрації аероіонів протягом навчальної зміни.

Середні значення аероіонізації повітря за межами приміщень при температурі атмосферного повітря 3 °С склали $n^+ - 360 \text{ см}^{-3}$, $n^- - 330 \text{ см}^{-3}$.

Визначення динаміки концентрацій аероіонів проводилося упродовж навчального дня у комп'ютерному класі площею 60 м², в якому встановлено 10 персональних комп'ютерів (табл. 1).

Зміна концентрацій аероіонів у комп'ютерному класі*

№ з/п	Час	Концентрація аероіонів, см ³		Температура, С	Відносна вологість повітря, %
		n ⁺	n ⁻		
1	До початку занять	610	420	19	74
2	Після 1 пари	820	290	22	68
3	Після 2 пари	300	240	23	60
4	Після 3 пари	НПЧ	НПЧ	24	54

* НПЧ – нижче порогу чутливості приладу.
Радіаційний фон склав 0,1 мкЗв/год

Проаналізувавши наведені дані, можна дійти висновку, що динаміка змін мікрокліматичних параметрів є передбачуваною. При цьому вологість повітря наближається до оптимальних нормативних показників, а концентрації аероіонів знижуються.

Але викликає інтерес статистично достовірне підвищення концентрації позитивних аероіонів на початку занять.

Це можна пояснити впливом системних блоків персональних комп'ютерів, чого у попередніх дослідженнях не реєструвалось.

Але під час занять у приміщенні може видобуватися зміна кількості людей.

У роботі [4] наголошується, що вплив персоналу на досліджуваний показник мінімальний, але з огляду на зміну відносної вологості це твердження потребує уточнення.

Аналогічні дослідження проведено для аудиторії без технічних засобів, у якій протягом 1 пари перебувало 24-27 курсантів (табл. 2).

При цьому радіаційний фон, як і у попередньому випадку, склав біля 0,1 мкЗв/год.

Таблиця 2

Зміна концентрацій аероіонів у навчальній аудиторії

№ з/п	Час	Концентрація аероіонів, см ³		Температура, С	Відносна вологість повітря, %
		n ⁺	n ⁻		
1	До початку занять	1400	530	20	51
2	Після 1 пари	700	400	21	50
3	Після 2 пари	710	420	21	50
4	Після 3 пари	580	510	22	48
5	Після 4 пари	250	210	23	48

Дані, наведені у табл. 2, свідчать, що в усіх випадках концентрації аероіонів за показником полярності не відповідають санітарним нормам [7].

Коефіцієнт полярності (відношення різниці концентрацій позитивних та негативних іонів до їх суми) коливається від 0,1 до 0,5; в той час як норматив вимагає – 0,2 для мінімально допустимих концентрацій та – 0,5–0,0 – для оптимальних.

За виміряного радіаційного фону у приміщеннях та стану зовнішнього повітря визначені співвідношення очікувані, але потребують корекції.

Найбільший інтерес викликають вихідні значення концентрацій аероіонів у аудиторії на початку навчального дня та їх досить високі значення принаймні протягом перших трьох пар.

Відомо, що основними чинниками іонізації повітря є радіаційний фон різного походження та розрядні процеси (коронні розряди, колектори двигунів тощо). У даному випадку такі явища відсутні через відсутність у аудиторії технічних засобів.

У деяких випадках рівні іонізації повітря обумовлені появою радону у приміщенні, який

має альфа-розпад, що не реєструється більшістю приладів.

Але обстежувані приміщення розташовані на четвертому поверсі навчального корпусу і не обладнані примусовою вентиляцією. Тобто, питання про виявлені аномальні концентрації аероіонів залишаються відкритими. Слід зауважити, що ці концентрації для позитивних іонів наближаються до оптимальних (1500 см^{-3}), для негативних – до мінімально допустимих (600 см^{-3}). Тобто, визначені концентрації становлять найбільший інтерес з точки зору виявлення джерел іонізації з метою подальшого використання цього явища.

Щодо зниження концентрацій аероіонів протягом навчального дня, як загальної тенденції, то найбільший внесок у цей процес дають системні блоки персональних комп'ютерів з переважним впливом на концентрації позитивних іонів. При цьому на початку робочого дня в умовах відсутності статичної електрики цей показник підвищується, а у подальшому – сильно знижується.

Зниження концентрацій аероіонів обох знаків також відбувається за рахунок їх осідання на зважені частинки – дрібнодисперсний пил та аерозолі.

Виконане дослідження слід вважати попереднім і таким, що показало складність динаміки змін концентрацій аероіонів у навчальних приміщеннях та невизначеність деяких джерел іонізації повітря.

Висновки

За результатами проведених вимірювань можна зробити кілька основних висновків:

1. Концентрації аероіонів у навчальних приміщеннях, особливо за коефіцієнтами полярності, незадовільні і не відповідають чинним санітарним нормам.

2. Потребує розроблення та впровадження комплекс заходів з нормалізації концентрацій аероіонів в умовах їх складної динаміки з урахуванням чинників іонізації (деіонізації) повітря у окремих навчальних приміщеннях.

3. Залишаються невизначеними джерела аномальної (порівняно з показниками зовнішнього повітря) рівнів іонізації у частині приміщень, що потребує проведення подальших поглиблених досліджень.

Список літератури

1. Коваленко О.В. Гігієнічні критерії оптимізації іонізованості повітря приміщень багатофункціональних житлових комплексів / О.В.Коваленко, В.Я. Акіменко // Гігієна населених місць. – 2007. – Вип.49. – С. 198 – 211.
2. Ластков Д.О. Аероіонопрофілактика як метод підвищення працездатності студентів / Д.О. Ластков, М.Г. Желебенко // Вестник гигиены и эпидемиологии. – 2008. – Т. 12, № 1. – С. 130 – 132.
3. Глива В.А. Дослідження впливу мікрокліматичних параметрів повітрообміну на аероіонний склад повітря робочих приміщень / В.А. Глива // Проблеми охорони праці в Україні. – 2011. – Вип. 20. – С. 58 – 65.
4. Сидоров В.О. Дослідження впливу чинників деіонізації на зміни концентрацій легких аероіонів у приміщеннях // О.В. Сидоров // Вісник Львівського Державного Університету безпеки життєдіяльності. – 2012. – № 6. – С. 163 – 167.
5. Сукач С.В. Дослідження температурно-вологісного режиму приміщення під час роботи вентиляційного комплексу / С.В. Сукач // Системи обробки інформації : збірник наукових праць. – X. : Харківський університет Повітряних Сил імені Івана Кожедуба, 2016. – Вип. 9 (146). – С. 197–202.
6. Козловська Т.Ф. Оцінка та шляхи мінімізації ймовірного шкідливого впливу комплексів «аероіонімічні речовини» повітря замкнутих виробничих приміщень / Т.Ф. Козловська, С.В. Сукач, О.М. Кравець // Електромеханічні і енергозберігаючі системи : щоквартальний науково-виробничий журнал. – Кременчук : КрНУ, 2016. – Вип. 3/2016 (35). – С. 82–88.
7. ДНАОП 0.03-3.06-80 "Санітарно-гігієнічні норми допустимих рівнів іонізації повітря виробничих та громадських приміщень №2152-80": [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://document.ua>.
8. Glyva V. International of Power Generation Facilities Impact on Light Air Ion Concentration / V. Glyva, O. Sydorov, Kh. Pankiv // Proceedings of 8-th Int. Green Energy Conference. – Monograph. – NAU, June 17-19, 2013. – P. 329 – 331.

Надійшла до редколегії 16.09.2016

Рецензент: д-р техн. наук, проф. В.А. Глива, Національний авіаційний університет, Київ.

ИССЛЕДОВАНИЕ ДИНАМИКИ АЭРОИОННОГО СОСТАВА ВОЗДУХА УЧЕБНЫХ ПОМЕЩЕНИЙ

С.В. Сукач, В.Н. Гусев, Р.Н. Левковский

Проведены измерения концентраций аэроионов обоих знаков в учебных помещениях. Результаты свидетельствуют, что понижение концентраций аэроионов происходит в течение дня с разными закономерностями для компьютерных и других аудиторий. Установленные аномальные концентрации аэроионов положительной полярности, источники которых не установлены.

Ключевые слова: концентрация аэроионов, ионизация воздуха.

THE STUDY OF THE DYNAMICS OF THE AIR IONS CLASSROOMS

S.V. Sukach, V.M. Gusev, R.N. Levkovskiy

Measurements of air ions of both signs concentrations in classrooms. The results indicate that the decrease in the concentration of ions takes place during the day with different laws for computer and other audiences. Installed abnormal concentrations of air ions of positive polarity, which is not installed sources.

Keywords: concentration of air ions, the ionization of air.

АНАЛІЗ ФІЗИКО-ХІМІЧНИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ НАФТИ І НАФТОПРОДУКТІВ, ЩО ВПЛИВАЮТЬ НА ВОДНЕ СЕРЕДОВИЩЕ ПРИ РОЗЛИВІ В МОРСЬКИХ АКВАТОРІЯХ: ПОСТАНОВКА ЗАВДАННЯ І ШЛЯХИ ЙОГО РІШЕННЯ

У статті представлені результати аналізу фізико-хімічних властивостей нафти і нафтопродуктів, що взаємодіють при розливі в морському середовищі. Це необхідно для проведення ліквідації розливів нафти з врахуванням властивостей впливу на водне середовище нафтою і її фракціями. Окрім цього, представлені основні етапи ліквідації наслідків розливу нафти з особливостями його розрахунку.

Ключові слова: аналіз, ліквідація, морське середовище, нафта, нафтопродукти, вплив.

Вступ

Актуальність теми. Одним з актуальних напрямів в області оцінки екологічного стану довкілля є розробка єдиного комплексного підходу до рішення задачі пов'язаною з визначенням параметрів зовнішнього середовища, а також визначенням критеріїв і показників оцінки даних параметрів [1]. При цьому одним з основних видів діяльності по зниженню рівня ризик виникнення надзвичайних ситуацій є визначення міри впливу на зовнішнє середовище [1, 2].

В даний час спостерігається в світі тенденція зростання видобутку нафти і танкерних перевезень її та нафтопродуктів в морях та океанах. Проте виникають ситуації пов'язані з розливом шкідливих речовин, пов'язаних з суб'єктивними і об'єктивними причинами. У зв'язку, з чим найважливішою екологічною проблемою Морей і океанів, є запобігання забруднення шкідливими речовинами, які наводять до безповоротних процесів дії на флору і фауну, природних ресурсів і живих організмів, а також до небезпеки для здоров'я людей. Окрім цього, антропогенна дія пов'язані з розливом нафти (нафтопродуктів) на водну поверхню наводять до погіршення морської діяльності, включаючи рибальство, змінюючи якість морської води і іншим шкідливим діям. Тому дослідження пов'язані з впливом нафти (або нафтопродуктів) на морське середовище є актуальним.

Аналіз джерел літератури і наочної області. Аналіз літератури [1 – 4] показав, що на сьогоднішній день великомасштабні розливи нафти та нафтопродуктів відбуваються в аваріях морів на танкерах та в океанах на нафтових платформах. Ці події відносяться до найбільш частіших та небезпечних по своїх наслідкам надзвичайних ситуацій, що приводять до проблеми очищення води від даних забрудників. Тому для ліквідації нафти і нафтопродуктів необхідне виконання комплексу заходів з метою формування ефективної системи реагування [3]. Особливістю ліквідації наслідків розливу нафти і нафтопродуктів є переважно механічні, термічні, фізико-хімічні і біологічні методи [2]. Це наводить до необхідності враховувати особливості взаємодії і

міру впливу на водне середовище нафти та нафтопродуктів при розливі в морських акваторіях.

Мета статті: провести аналіз складових елементів нафти і виділити основні речовини, що впливають на морське середовище. Окрім цього, робиться спроба узагальнити деякі підходи до урахування специфіки при ліквідації наслідків, що пов'язані з розливами нафтопродуктів, а також визначити основні етапи їх реалізації. Це необхідно для визначення даних, а також вимог до порядку розрахунку сил та засобів для проведення аварійно-рятувальної операції по ліквідації наслідків розливів нафтопродуктів.

Виклад основного матеріалу

Аналіз фізико-хімічних властивостей нафти. Аналізуючи поняття нафти можна сформулювати з хімічної точки зору як природна масляниста рідина, яка може бути від світло-коричневого (майже безбарвна) до темно-бурого кольору, є складною сумішшю вуглеводнів, водню і деяких інших хімічних сполук [3]. При цьому, загальний вміст вуглеводнів та водопологів може досягати порядку до 98 %, їх фракції слабо зв'язані між собою і при тривалому зберіганні здібні до розшарування під впливом гравітації [2]. Окрім цього в нафті містяться: сірка, кисень, азот в кількості 0,5...8 %. Незначну долю домішок (не менше 0,02...0,03% по масі) складають хром, нікель, залізо, кобальт, магній, титан, натрій, кальцій, германій, фосфор, кремній та ін. Це наводить до певних труднощів при перевезенні через те, що легші фракції концентруються у верхніх шарах, а важкі – в нижніх [3]. Склад вуглеводнів нафти можна класифікувати на 4 класи [2]:

– Алкани (парафінові вуглеводні) насичений вуглеводнем (C_nH_{2n-2}), особливістю якого є наявність метану (CH_4), який є найбільш легким вуглеводнем даного класу. Алкани з великою молекулярною вагою входять до складу різних марок рідкого палива. При цьому фізичні параметри алканів характеризуються такими як молярна вага, температура плавлення, кипіння, щільність і іншими фізичними властивостями у міру зростання молярної ваги. Аг-

регатний стан їх у міру збільшення молярної ваги змінюється від газоподібного до твердого стану.

– Циклани – мають насичені вуглекисне циклічне будови (C_nH_{2n}). Характеризуються наявністю вмісту нафтені (такі як циклометан, метилциклометан, етилциклометан, проциклометан, циклогексан) в рідкому стані. Фізичні параметри цикланів характеризуються як температура кипіння, щільність і низька теплота згорання.

– Ароматичні вуглеводні – циклічні органічні сполуки, можуть мати насичені або ненасичені бічні ланцюги. Зв'язок С – Н завжди одинарний, між атомами вуглецю може бути одинарною і подвійною. Особливістю ароматичних з'єднань є при змішуванні з водою утворення стійких емульсій. Фізичні параметри ароматичних фракцій (такі як бензол, толуол, етилбензол, кумол, нафталін, антрацен) характеризуються формулою, кількістю атомів вуглецю температурою кипіння і щільністю.

– Алкени (олефіни, етиленові вуглеводні) є неграничними моноолефіновими вуглеводнями що містять один подвійний зв'язок між атомами вуглецю (C_nH_{2n-2}). Характеризуються такими параметрами як температура плавлення і кипіння алкенов, а також залежить від молекулярною масою і довжини головного вуглецевого ланцюга. Також алкени змінюється від газоподібного до твердого стану.

Фізичні характеристики нафти і нафтопродуктів. Основними фізичними характеристиками нафти і її фракцій є: щільність; в'язкість; температура кипіння окремих фракцій; теплота згорання палива (теплотворна здатність палива); електропровідність; температура застигання; розчинність у воді і так далі. Розглянемо більш детально дані характеристики і їх властивості.

Щільність. Щільність нафти (ρ) залежить від молекулярного співвідношення легких і важких фракцій і лежить в межах від 0,73 до 1,042 г/см³. Типова щільність нафти, що добувається, знаходиться в значно вузькому діапазоні (0,82÷0,92) г/см³ [3]. Якщо $\rho \leq 0,9$ г/см³, то відноситься до легених її сортам, а вище – до важких.

В'язкість нафти. В'язкість нафти зазвичай визначається при температурі 50° С і вагається в широких межах від 1,2 до 55 сСт [3]. В'язкість нафти залежить від співвідношень легких і важких фракцій. Тому при транспортуванні потрібне підігрівання, що дозволяє при вивантаженні уникнути проблеми, пов'язані із зниженням продуктивності вантажних насосів.

Температура кипіння окремих фракцій. Нафта по своєму фракційному складу відноситься до складної корисної копалини [3]. Як вказувалося вище, в її склад входить чимала кількість (порядку 450) фракцій. Кожна з цих фракцій має сповна певну температуру кипіння. Тому можна зробити вивід про широкий діапазон температур кипіння фракцій нафти навіть в межах одного класу, який складає від – 182,48° С в метану і до 520° С в гектана. Істотно відрізняється температура кипіння окремих фракцій і в межах інших класів. Одним з параметрів нафти, що

визначає діапазон легких фракцій, є температура початку кипіння. Тому необхідно враховувати вплив цих властивостей на поведінку і подальшу зміну структури розлитій в морі нафті.

Теплота згорання палива. Теплота згорання (теплотворна здатність) палива характеризує кількість тепла, що виділяється при повному згоранні 1 кг палива (ккал/кг) [3]. Окрім цього теплотворна здатність може підрозділятися як на вищу (Q_v) і нижчу (Q_z). Під Q_v розуміється кількість тепла, яке виділяється при повному згоранні палива з утворенням CO_2 і H_2O в рідкому стані, а нижча теплотворна здатність палива Q_z характеризує кількість тепла, що виділяється при повному згоранні кг палива з утворенням, CO_2 , H_2O та SO_2 , які знаходяться в газоподібному стані. Особливістю визначення нижчої теплотворної здатності палива, є те що при визначенні не враховується витрата тепла на випар вологи палива. При цьому фракції нафти володіють великою теплотворною здатністю. Наприклад, теплотворна здатність метану – 11954 ккал/кг, гексану – 10780 ккал/кг, ейкозану – 10568 ккал/кг і тому подібне. Окрім цього, в певних випадках теплота згорання підвищується, що зв'язане витратою енергії на розрив внутрішньомолекулярних зв'язків. Тому дану властивість фракції нафти необхідно враховувати при подальших дослідженнях.

Діелектричні властивості. Нафта і її фракції є хорошими діелектриками. Так наприклад, питомий опір твердого парафіну складає $10^{18} \div 10^{21}$ Ом/м³, а для нафти $10^{11} \div 10^{15}$ Ом/м³. Тому при транспортуванні нафти крупними танкерами під впливом зовнішніх сил може формуватися значні потенціали статистичної електрики, розряди яких можуть привести до займання і вибуху.

Процеси взаємодії морського середовища з нафтою виникають при розливі. Нафта, що попала в морі, розтікається і переміщається по його поверхні, зазнаючи при цьому ряд хімічних і фізичних змін. Ці зміни нафті починаються безпосередньо з моменту попадання її на поверхню води і продовжуються, залежно від типу нафти, що розлилася, і гідрометеорологічних умов, протягом майже всього періоду перебування нафти на воді. Динаміка поширення нафти у водному середовищі представлена на рис. 1.

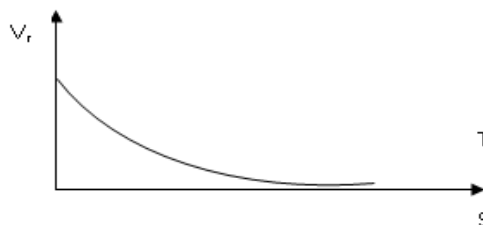


Рис. 1. Динаміка розтікання нафти: V_r – швидкість розтікання; T – час розтікання; S – площа розтікання

Окрім цього у воді приходять фізико-хімічних процеси пов'язані з фракціями нафти, що також впливає на стан поверхні моря. Так само в роботах [3] показана залежність розподілу випару, розсію-

вання, розчинення, окислення, емульгування, поширення розлитої нафти на водній поверхні. Аналіз результатів робіт [5 – 7], дозволяє зробити висновок, що основні процеси впливають на випар, розсіювання, розчинення, окислення, емульгування, розтікання проходять в період до 1 дня досить інтенсивні і лише змішування вже важких фракцій з суспензією у воді і окремими компонентами дна (мул, пісок, дрібний гравій) відбуваються в течію від декількох днів до місяця і більш. Крім того, до основних фізико-хімічних змін нафті, що розлилася, під впливом зовнішніх чинників відносяться: диспергування, біодеструкція, осадження і розчинення [4].

Визначення основних етапів ліквідації наслідків розливу. Одними з найважливіших складових здобуття адекватних результатів розрахунку є правильна підготовка і обробка вихідних даних [4]. При цьому, основними етапами що пов'язані з ліквідацією розливу нафти і точністю отриманих результатів залежить від виконання основних етапів [6, 7]:

1. Вводяться параметри розливу, координати, дата і час викиду і характеристика об'єкту вибою.
2. Характеристика нафти (нафтопродукту) з певними фізико-хімічними властивостями, можливий об'єм викиду, тип викиду, тривалість.
3. Необхідно знати граничні погодні і кліматичні умови. Це необхідно для прогнозування зони розливу нафти (нафтопродукту) для подальшої її ліквідації.
4. Характер акваторії (внутрішня акваторія морського порту, зовнішній рейд, відкрите море і т.д.).
5. Вибір сил і засобів для ліквідації наслідків розливу нафти (нафтопродукту). Окрім цього, необхідний розгляд основних етапів ліквідації наслідків розливу для необхідного виділення розрахунку достатності сил і засобів у складі планів по попередженню і ліквідації розливів нафти і нафтопродуктів в морській акваторії.
6. Виконання аварійно-рятувальної операції і ліквідація розливу нафти (нафтопродукту) з корекцією розрахунку зони розливу нафти (нафтопродукту) в районі, що діє, з врахуванням сезонних і тимчасових змін. При цьому необхідно враховувати те, що дже-

рело забруднення може продовжувати рухатися, а зона розливу розширюватися.

7. Проведення моніторингу на присутність розливу нафти (нафтопродукту) в заданому районі.

Висновки

Таким чином, в даній статті розглядалися фізико-хімічні властивості нафти і нафтопродуктів для організації основних етапів і подальшої ліквідації розливів в морській акваторії. Необхідно підкреслити, що залежно від фізичних і хімічних властивостей нафти, а також процентному співвідношенню фракцій окремих класів, вмістом таких домішок як сірка, нікель і т.ін. в цілому та визначає її мірою впливу на морське середовище. Окрім цього, проведений аналіз може бути використаний для вирішення інших завдань, що пов'язані з можливим визначенням необхідної кількості сил і засобів для ліквідації розливу нафти та нафтопродуктів.

Список літератури

1. Булатов А.И. Охрана окружающей среды в нефтегазовой промышленности // А.И. Булатов, П.П. Макаренко, В.Ю. Шеметов. – М.: Недра, 1997. – 483 с.
2. Норман Дж. Хайн. Геология, разведка, бурение и добыча нефти / Норман Дж. Хайн. – М.: Олимп Бизнес, 2008. – 752 с.
3. Петров А.А. Углеводороды нефти / А.А. Петров. – М.: Химия, 1984. – 264 с.
4. Поконова Ю.В. Нефть и нефтепродукты / Ю.В. Поконова. – СПб.: АНО НПО «Мир и семья», 2003. – 904 с.
5. Хайдуков А.О. Транспортные свойства и характеристики нефтяных грузов, перевозимых на танкерах / А.О. Хайдуков, О.П. Хайдуков. – Новороссийск: НГМА, 2003. – 264 с.
6. Загрязнение моря нефтью и химикалиями: гражданская ответственность и компенсация ущерба (Сборник Конвенций ИМО). – СПб.: ЦНИИМФ, 2005. – 482 с.
7. Арнс В.Ж. Проблема нефтяных разливов и роль сорбентов в ее решении / В.Ж. Арнс, О.М. Гридин // Нефть, газ и бизнес. – 2000. – № 5. – С. 27-30.

Надійшла до редколегії 18.06.2016

Рецензент: д-р техн. наук, проф. О.А. Машков, Державна екологічна академія післядипломної освіти та управління, Київ.

АНАЛИЗ ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИХ СВОЙСТВ НЕФТИ И НЕФТЕПРОДУКТОВ ВЛИЯЮЩИХ НА ВОДНУЮ СРЕДУ ПРИ РАЗЛИВЕ В МОРСКИХ АКВАТОРИЯХ: ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ И ПУТЬ ЕЕ РЕШЕНИЯ

В.М. Тэуг

В статье представлены результаты анализа физико-химических свойств нефти и нефтепродуктов взаимодействующих при разливе в морской среде. Это необходимо для проведения ликвидации разливов нефти с учетом свойств влияния на водную среду нефтью и ее фракциями. Кроме этого, представлены основные этапы ликвидации последствий разлива нефти с особенностями его расчета.

Ключевые слова: анализ, ликвидация, морская среда, нефть, нефтепродукты, влияние.

ANALYSIS OF PHYSICO-CHEMICAL PROPERTIES OF OIL AND PETROLEUM PRODUCTS AFFECTING IN THE AQUATIC ENVIRONMENT SPILLING IN THE MARINE WATERS: PROBLEMS AND WAY OF ITS DECISIONS

V.M. Teut

The results of the analysis of physicochemical properties of the oil and petroleum spill interacting in a marine environment presented in the article. This is necessary for oil spill response, taking into account the properties of impact on the aquatic environment of oil and its fractions. In addition, the main stages oil spill response with the peculiarities of its calculation.

Keywords: analysis, liquidation, marine environments oil, petroleum products, the influence.

УДК 631.6.02

В.М. Триснюк, О.В. Атрасевич

Інститут телекомунікацій та глобального інформаційного простору НАН України, Київ

ОЦІНКА ЕКОЛОГІЧНОЇ СИТУАЦІЇ УРАЖЕНОСТІ ЕРОЗІЙНИМИ ПРОЦЕСАМИ ДНІСТРОВСЬКОГО КАНЬЙОНУ

В роботі обґрунтовано методологію оцінку екологічної ситуації ураженості ерозійними процесами водозаборів басейну річки Дністер. Територія Дністровського каньйону характеризується великою строкатістю природних умов: неоднорідністю геолого-геоморфологічної будови, кліматичними умовами, різноманітним рослинним, ґрунтовим покривом, що значною мірою впливає на формування агроєкосистем.

Ключові слова: антропогенне навантаження, ерозійні процеси, екологічна ситуація, геоінформаційні технології.

Вступ

Актуальність теми. Значне антропогенне навантаження в 60-80-х роках минулого століття призвело до порушення біологічної рівноваги в екосистемах, інтенсифікації процесів деградації земельних, ґрунтових ресурсів, зменшення їх продуктивності. Все це стало причиною сучасної екологічної кризи в Дністровському каньйоні та прилеглих територій [1,2]. Наукою і практикою встановлено, що найбільш доцільно оцінювати розвиток деградаційних процесів, ерозійно небезпечні території в межах гідрологічних елементарних одиниць – річкових, балкових, лощинних водозборів, оскільки в їх складі є безліч схилів різної крутизни, довжини, експозиції, форми, типів, підтипів, різновидностей ґрунтів. Водозбори - це кінцева ланка з точки зору формування і регулювання ґрунтового стоку. Тільки в їх межах можна вирішити питання комплексного підходу щодо зменшення інтенсивності деградаційних процесів, в першу чергу площинної і лінійної ерозії, відновлення родючості ґрунтового покриву та ефективного використання земельних угідь. Всі ці питання неможливо вирішувати для території, яка знаходиться в двох і більше суміжних водозборах.

Аналіз наукових досліджень. В основу методики досліджень покладено загальноприйняті комплексні ландшафтно-гідрологічні, математико-статистичні методи, що сприяють виявленню взаємозв'язків між природними і антропогенними факторами, які визначають генезис ерозійно-гідрологічних процесів. При дослідженні річкових водозборів враховувалося гідрологічне, ґрунтово-ерозійне та ландшафтне районування території річки Дністер, а еродованість ґрунтового покриву та її динаміка оцінювалась методом порівняння різночасових ґрунтово-ерозійних карт.

Виклад основного матеріалу

Проведений аналіз експериментальних даних, наукових літературних джерел і фондових матеріа-

лів показує, що притоки басейна річки Дністер характеризуються великою неоднорідністю геолого-геоморфологічної будови, різноманітністю ландшафтів, значними відмінами в господарській освоєності та антропогенній трансформованості компонентів природного середовища.

Показники стоку води, наносів, розчинених речовин з кожної річкової (басейнової) системи в інтегральному вигляді відображають її еколого-географічний стан; поширення і розвиток сучасних рельєфотворчих процесів у ній; ґрунтовий і рослинний покрив; поверхневі та підземні води; геологічне середовище. Моніторингові дослідження параметрів річкових систем дозволили виявити:

- тенденції і масштаби зміни екологічної ситуації;
- причини та умови, що обумовлюють несприятливі явища;
- рельєфотворчий ефект екзогенних (ерозійних) процесів;
- здійснити прогноз поведінки як цілих систем, так і підсистем, чи елементів русел, схилів та водозборів;
- обґрунтувати і реалізувати комплекс природоохоронних заходів, спрямованих на регулювання інтенсивності ерозійних та інших процесів;
- здійснювати охорону ґрунтів, поверхневих та підземних вод від забруднення;
- проектувати і створювати стійкі, високопродуктивні басейнові природно-господарські системи різного призначення.

Растровими дані є космічні знімки, скановані карти, фотографії тощо. Приклад представлення рельєфу, отриманий за допомогою ГІС ArcInfo (ArcMap). Дистанційні методи дають можливість оперативно проводити моніторинг підтоплень та простежувати їх динаміку, однак мають ряд недоліків, обумовлених складністю інтерпретації даних, недостатньою глибиною вимірювань деяких методів і затримкою при отриманні космо- або аерознімків (рис. 1).

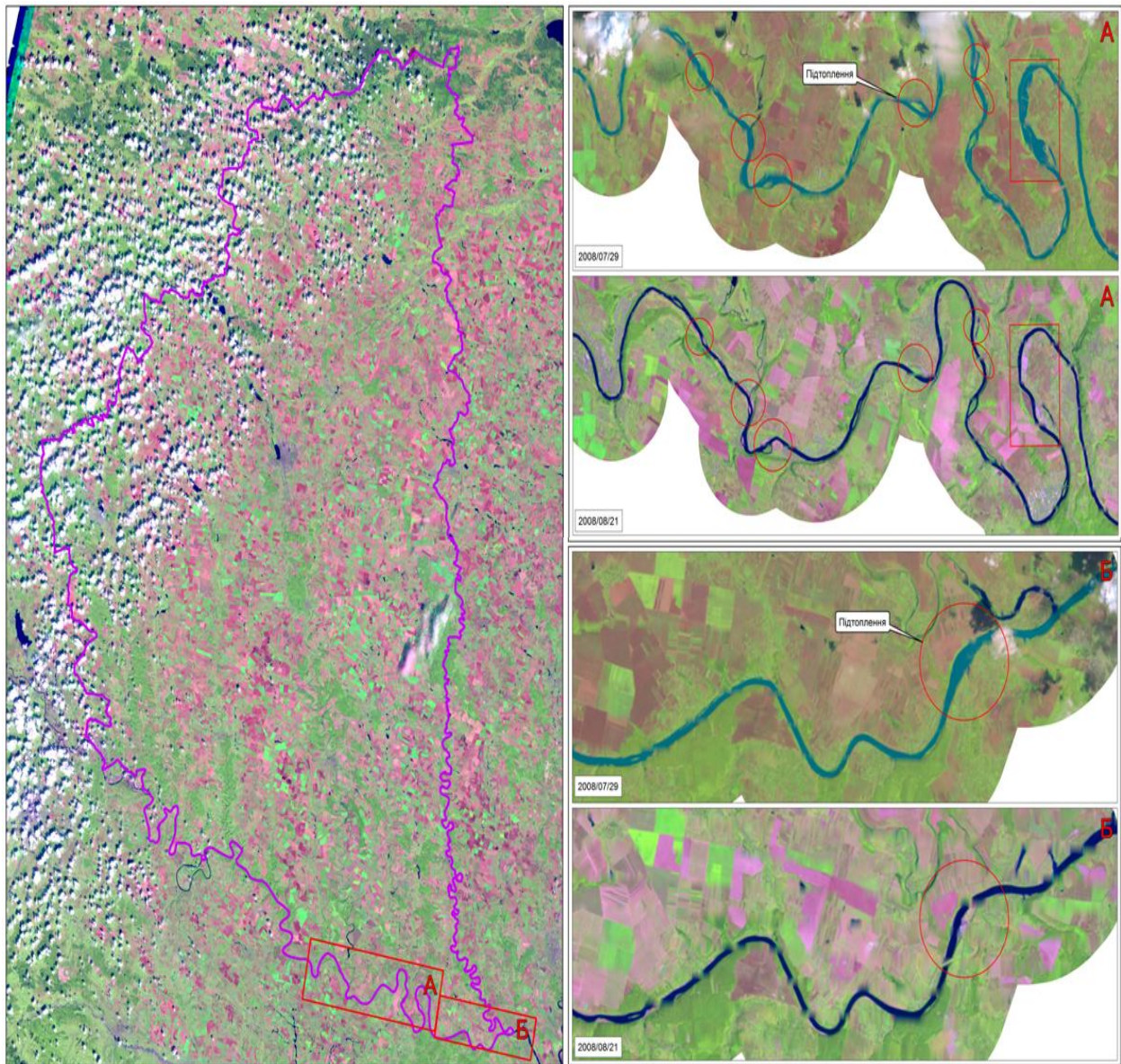


Рис. 1. Космічний знімок підтоплення річки Дністер

Вся кадастрова інформація опрацьована за допомогою геоінформаційних технологій у програмному середовищі ArcGIS. Географічною основою для баз геоданих послужила цифрова карта регіону масштабу 1 : 200 000 із вказаними населеними пунктами, нанесеними залізницями, автодорогами, водотоками та іншими природними і техногенними об'єктами. Картографічна основа узгоджена із космознімками Spot DOI-10 і Landsat ETM+ із роздільною здатністю 10 і 30 м відповідно. Це дозволяло точніше дешифрувати досліджувані об'єкти та наносити їх на карту. Новим прогресивним методом вважають також повітряне лазерне сканування промислових об'єктів з одночасною прив'язкою через GPS-приймач до географічних координат. Матеріали знімання дають змогу створити 3D моделі рельєфу із точністю 15–20 см та аерофотомозаїку масштабу 1 : 1 000–1 : 5 000, отримати інформацію про конструкційні й експлуатаційні параметри інженер-

них споруд і будівель, розрахувати технічні параметри гірничих об'єктів (кар'єрів, відвалів, відстійників тощо) за їхніми тривимірними моделями[5].

У зв'язку з високим ерозійним потенціалом рельєфу приток басейну річки Дністер, значним ступенем їх господарського освоєння, трансформованістю біотичних компонентів, високою імовірністю зливових дощів та періодичним формуванням стоку талих вод, найбільшу небезпеку виведення екосистем із рівноваги створюють ерозійно-аккумулятивні процеси. Найважливішими їх показниками є: ступінь еродованості ґрунтового покриву, густина розчленування території лінійними (яружними) розмивами, інтенсивність розвитку деградаційних процесів на схилах в різнорангових водозборах рік.

Виявлено, що еродованість земель, зайнятих сільськогосподарськими угіддями, становить 20–75%. Найвищі показники характерні для водозборів рік Подільської і Волинської височин, Передкар-

паття, низькогірної та Вододільно-Верховинської зони Українських Карпат [3]. Під впливом значного антропогенного навантаження, інтенсивного розорювання в 60-80-х роках минулого століття схилових земель площа еродованих ґрунтів збільшилась на 10-25 %, а в найбільш освоєних річкових водозборах - на 35-40 %, що спричинило зниження родючості ґрунтового покриву, значне посилення акумуляції продуктів змиву (ґрунтозему) в підніжжі схилів, заплавах і в руслах малих річок, забруднення поверхневих вод та погіршення екологічної ситуації.

Спеціальні дослідження співвідношень об'ємів змитого ґрунту, транспортування наносів талим і зливовим стоком, їх перевідкладення на елементах рельєфу річкових систем, свідчать, що кількість змитого ґрунту в підніжжях схилів, днищ балок становить 15-60 %. В екстремальних випадках цей показник може досягати 80 % наносів. Виявлено, що за межі балочного, лощинного водозбору (повністю розораного) виноситься 18-71% об'єму продуктів ерозії з схилів і тальвегів. Досить велика їх частина (58-78 %) відкладається на заплавах річок I-II порядку, які в основному на 60-70% складаються з балочних та лощинних водозборів [4].

Поряд з ерозією ґрунтів під час інтенсивних злив в окремих річкових водозборах спостерігаються зсувні та селеві явища.

Висновки

У природному і сільськогосподарському відношенні водозбори річки Дністер характеризуються великою строкатістю, що значно впливає на розвиток та інтенсивність ерозійних та інших негативних явищ.

Встановлено, що ступінь еродованості сільськогосподарських угідь річкових водозборів становить 20-30 %. Найвищі показники характерні для басейнів рік Передкарпаття, Подільської і Волинської височин. Стан геосистем в районі Дністра проаналізовано за допомогою серії аеро- і космоснімків високої роздільної здатності, що відображали

різні часові зрізи. Визначено підхід до паспортизації річок що протікають у схожих гідрометеорологічних умовах по моделях геоданих. Таким чином, є важливою розробка геоінформаційної системи басейну р. Дністер з банком еколого-водогосподарської та кадастрової інформації про водний фонд, водні ресурси, використання водних ресурсів, якість води тощо.

Проведений аналіз стану багаторічної динаміки природних негативних процесів в басейнах річки Дністер свідчить про несприятливі тенденції розвитку деградаційних явищ, погіршення якості ґрунтових, земельних та водних ресурсів, зростання екологічної напруги, особливо в межах водозборів річок з великим антропогенним навантаженням.

Наші дослідження послужать основою для розробки схем-моделей формування екологічно стійких агроєкосистем.

Список літератури

1. Волощук М.Д. Створення ерозійно-стійких екологічно збалансованих і високопродуктивних агроландшафтів в Передгірській зоні Карпат / М.Д. Волощук, Ф.М. Лагуш, В.Б. Лукомська // Тези доповіді Міжнародної науково-практичної конференції з нагоди 80-річчя з дня створення науково-дослідної організації. – Львів, 1994. – С. 13-15.
2. Калущий І.Ф. Стихійні явища в гірськолісових умовах Українських Карпат / І.Ф. Калущий, В.С. Олійник. – Львів, 2007. – 239 с.
3. Триснюк В.М. Екологія Гусятинського району. – Тернопіль : Тернограф, 2004. – 219 с.
4. Ковальчук І. Картографічне моделювання трансформації природного середовища людиною / І. Ковальчук, Є. Іванов, Ю. Андрейчук, Н. Лобанська // Географія в інформаційному суспільстві: Зб. наук. праць. У 4-х т.: Мат-ли X з'їзду УГГ. – К.: ВГЛ «Обрії», 2008. – Т. IV. – С. 65–66.
5. Міщенко Л.В. Геоєкологічне районування: наукова монографія за ред. О.М. Адаменка / Л.В. Міщенко. – Івано-Франківськ : Симфонія форте, 2011. – 408 с.

Надійшла до редколегії 1.07.2016

Рецензент: д-р техн. наук, проф. О.С. Бутенко, Національний аерокосмічний університет імені М.С. Жуковського «ХАІ», Харків.

ОЦЕНКА ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ СИТУАЦИИ ПОРАЖЕНИЯ ЭРОЗИОННЫХ ПРОЦЕССОВ ДНЕСТРОВСКОГО КАНЬОНА

В.Н. Триснюк

В работе обосновано методологию оценки экологической ситуации поражения эрозионными процессами водозборов бассейна реки Днестр. Территория Днестровского каньона характеризуется большой пестротой природных условий: неоднородностью геолого-геоморфологического строения, климатическими условиями, разнообразным растительным, почвенным покровом, в значительной мере влияет на формирование агроэкосистем.

Ключевые слова: экологическая ситуация, антропогенная нагрузка, эрозионные процессы, геоинформационные системы.

ASSESSMENT OF THE ENVIRONMENTAL SITUATION STAGGERED BY EROSION DNIESTER CANYON

V.N. Trisnyuk

We justify the methodology to assess the environmental situation staggered by erosion of the river water intake Dnestr. Territory Dniester Canyon basin is characterized by a great diversity of natural conditions: inhomogeneities geological and geomorphological structure, climatic conditions, diverse vegetation, soil cover, greatly affects the formation agro-ecosystems.

Keywords: ecological situation, anthropogenic load, erosion, geographic information systems.

УДК 631.6 : 004.7

А.А. Можаяв¹, М.А. Можаяв², М.А. Логвиненко², Наем Хазим Рахим¹¹ *Национальный технический университет «ХПИ», Харьков*² *Харьковский научно-исследовательский институт судебных экспертиз, Харьков*

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИИ МІМО В ГЕОИНФОРМАЦИОННЫХ СИСТЕМАХ ЭКОЛОГИЧЕСКОГО МОНИТОРИНГА

В статье исследуется использование компьютерных геоинформационных технологий для обеспечения экологического мониторинга. Анализируются типы сетей передачи информации, которые используются в управляющей вычислительной системе экологического контроля. Определено, что значительная часть используемых сетей является беспроводными сетями и предлагается их построение на базе технологий МІМО. Установлено, что рассмотренные алгоритмы обработки МІМО-сигналов позволяют повысить качество передачи информации в сложных условиях.

Ключевые слова: система МІМО, система MC-CDMA, запись Эйлера.

Введение

Постановка задачи и анализ литературы. В настоящее время значительное внимание уделяется вопросам охраны окружающей среды и рационального использования природных ресурсов. Для их решения необходим комплексный подход, который требует использования больших объемов экологической, картографической и другой количественной информации о состоянии компонент природной среды, что практически невозможно без применения развитых методов и средств информатики. Наиболее перспективными методами обработки и усвоения подобных объемов информации, на сегодняшний день, являются методы, основанные на использовании компьютерных геоинформационных технологий. Использование геоинформационных систем (ГИС), позволяющих проводить одновременный анализ многомерных данных с использованием цифровых карт, упрощает процедуры экологического прогноза и оценку комплексного воздействия на природную среду, делает возможным оперативное выявление аномалий и принятие необходимых мер для их устранения [1 – 10].

Задачи математического моделирования процессов, происходящих в окружающей среде, требуют визуализации расчетных данных. Современные информационные системы, в частности ГИС, позволяют эту визуализацию осуществить, причем обмен данными между моделями и ГИС может быть двусторонним. Начальные условия для модели, в частности, координаты объектов, могут быть получены из ГИС – систем. В свою очередь, ГИС – системы отображают результаты моделирования.

Система экологического контроля, реализующая задачи экологической и техногенной безопасности промышленного региона, должна базироваться на сетевой управляющей вычислительной системе (УВС), построенной с применением эффективных

программных и технических средств экологического мониторинга. Все результаты измерений в автоматическом режиме передаются в центр мониторинга и контроля промышленных выбросов региона. Управляющую вычислительную систему экологической и техногенной безопасности региона можно представить, как сетевой комплекс, объединяющий измерительные устройства и контроллеры пунктов мониторинга, рабочие станции центра мониторинга между собой, а также с уровнем управления регионом [5]. Рабочие станции занимаются обработкой и экологической информацией, ее архивированием.

Особенностью сетевой УВС экологического контроля является то, что значительная часть подсетей является беспроводной, что обусловлено особенностями месторасположения участков земной поверхности, подвергающихся мониторингу. Несмотря на то, что беспроводные сети используются достаточно долго, все же задача повышения качества обслуживания такими системами является **актуальной**.

Целью данной статьи является анализ использования МІМО-технологий для повышения качества передачи информации в сложных условиях

1. Системы МІМО

Средства беспроводной связи весьма широко используются в офисных и домашних сетях передачи информации, в интерфейсах "ноутбук настольный компьютер" и мультимедийных решениях. Все актуальнее становится дальнейшее повышение скорости передачи данных в таких приложениях. Большие надежды в решении этой задачи связаны с использованием так называемых МІМО-технологий (MultipleInput- MultipleOutput, множественный вход - множественный выход). И хотя существующие воплощения МІМО-идеи пока не всегда заметно ускоряют трафик на небольших расстояниях от точки доступа, уже доказано, что на больших удалени-

ях они весьма эффективны. MIMO-принцип позволяет уменьшить число ошибок при радиобмене данными (BER) без снижения скорости передачи в условиях множественных переотражений сигналов. При этом многоэлементные антенные устройства обеспечивают:

- расширение зоны покрытия радиосигналами и сглаживание в ней мертвых зон;
- использование нескольких путей распространения сигнала, что повышает вероятность работы по трассам, на которых меньше проблем с замираниями, переотражениями и т.п.;
- увеличение пропускной способности линий связи за счет формирования физически различных каналов (разделенных пространственно, с помощью ортогональных кодов, частот, поляризационных мод).

История систем MIMO как специфичного объекта беспроводной связи пока весьма не продолжительна. Первый патент на использование MIMO-принципа в радиосвязи был зарегистрирован в 1984 году сотрудником Bell Laboratories Джеком Винтерсом (Jack Winters) [5].

Базируясь на его исследованиях, Джек Селз (Jack Salz) из той же Bell Laboratories опубликовал в 1985 году первую статью по MIMO-решениям. Развитие данного направления продолжалось специалистами Bell Laboratories и другими исследователями вплоть до 1995 года. В 1996 году Грэг Ралей (Greg Raleigh) и Джеральд Дж. Фошини (Gerald J. Foschini) предложили новый подход к реализации MIMO-системы, увеличивший ее эффективность. Впоследствии Грэг Ралей, которому приписывают авторство в использовании OFDM (Orthogonal Frequency Division Multiplexing - мультиплексирование посредством ортогональных несущих) для MIMO, основал компанию Airgo Networks, разработавшую первый MIMO-чипсет True MIMO.

Однако, несмотря на столь короткий век, MIMO-направление развивается весьма многопланово и включает в себя разнородное семейство методов, которые можно условно классифицировать в соответствии с принципом разделения сигналов в приемном устройстве. При этом в MIMO-системах используются как уже зарекомендовавшие себя подходы к разделению сигналов, так и новые. К ним относятся, в частности, пространственно-временное, пространственно-частотное, пространственно-поляризационное кодирование, а также сверхразрешение по направлению прихода сигнала в приемник. Именно обилие подходов к разделению сигналов обусловило столь долгую разработку стандартов на использование систем MIMO в средствах связи.

Простейшая антенна MIMO - это система из двух несимметричных вибраторов (монополей), ориентированных, например, под углом $\pm 45^\circ$ относительно вертикальной оси (рис. 1).

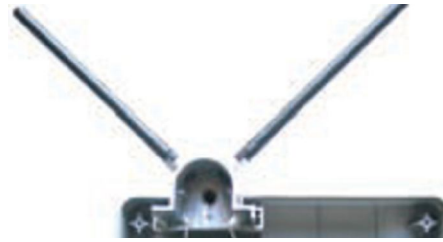


Рис. 1. Система MIMO с ортогональной поляризацией антенн

Такой угол поляризации ставит оба канала в равные условия, поскольку при горизонтально-вертикальной ориентации излучателей одна из поляризационных составляющих неизбежно получила бы большее затухание при распространении вдоль земной поверхности. Сигналы, излучаемые независимо каждым монополем, поляризованы взаимно ортогонально с достаточно высокой взаимной развязкой по кросс-поляризационной составляющей (не менее 20 дБ). Аналогичная антенна используется и на приемной стороне. Такой подход позволяет одновременно передавать сигналы с одинаковыми несущими, модулированными различным образом. Принцип поляризационного разделения обеспечивает удвоение пропускной способности линии радиосвязи по сравнению со случаем одиночного монополя (в идеальных условиях прямой видимости при идентичной ориентации приемных и передающих антенн). Таким образом, по сути любую систему с двойной поляризацией можно считать системой MIMO.

2. Ортогональное кодирование

CiscoSystems, и др. А фирма Airgo Networks уже приступила к серийному производству чипсета Другое направление реализации принципа MIMO - использование ортогонального кодирования (как правило, по фазе) сигналов, независимо излучаемых разными антенными элементами. Характерный пример - применение MIMO в устройствах стандарта IEEE 802.11. Об этом заявили многие производители оборудования, в частности, американская компания Vivato, тайваньская фирма D-Link (например, адаптер D-Link DWL-G650M Wireless MIMO Cardbus), компания Lynksys, вошедшая в корпорацию AGN300 для поддержки MIMO-опции в стандартах IEEE 802.11 a/b/g.

Один из возможных подходов к реализации ортогонального кодирования заключается в расширении спектра передаваемого сигнала методом прямой последовательности (DSSS – Direct Sequence Spread Spectrum). Суть DSSS состоит в замене каждого бита (или групп битов) исходного потока данных некоей псевдослучайной (шумоподобной) кодовой последовательностью. Основное требование к кодам, используемым при DSSS, - автокорреляция кодовой последовательности при сдвиге должна быть минимальной, в идеале равной 0. Тогда при многолучевом распростра-

нении (например, из-за переотражений в условиях городской застройки) сигнал, попавший на приемник с задержкой, будет восприниматься коррелятором как шум и не испортит основной (прямо распространяющийся) сигнал. На приемной стороне входной сигнал попадает на коррелятор, в котором происходит когерентное накопление (в простейшем случае это произведение входного сигнала на эталонную кодовую последовательность), в результате шумы отфильтровываются, и остается лишь полезный сигнал. Например, в стандарте IEEE 802.11 каждый бит, равный 1, заменяется 11-позиционным кодом Баркера (10110111000), а равный 0 - его инверсией. Один элемент такой кодовой последовательности называют чипом, а саму расширяющую последовательность базой сигнала.

При использовании техники MIMO в оборудовании стандарта IEEE 802.11 антенные излучатели передают сигналы либо с частотным разделением, либо со сдвигом по времени друг относительно друга, например на один чип. В последнем случае базы сигналов в каждом антенном канале оказываются взаимно ортогональными (или близкими к этому).

Дальнейшим развитием принципа DSSS в семействе стандартов IEEE 802.11 стало использование в протоколе 802.11b метода фазовой модуляции с помощью многофазной (полифазной) комплементарной кодовой последовательности (метод CCK - Complementary Code Keying). Первым изложил идею бинарных комплементарных кодов Марсель Голей (M.J.E. Golay), более полувека назад описав их принцип и методы генерации [5]. Суть комплементарного кодирования состоит в использовании двух последовательностей a и b , каждая из k элементов, с автокорреляционными функциями

$$A(i) = \sum_{j=1}^{k-i} a_j a_{j+i}; \quad B(i) = \sum_{j=1}^{k-i} b_j b_{j+i},$$

где $i = 0, k-1$ - возможный сдвиг, $A(i) + B(i) = 0$ при любом $i \neq 0$, и $A(0) + B(0) = 2k$.

Физическая интерпретация сдвига в данных формулах - прием прямо распространяющегося сигнала и сигнала с фазовой задержкой на i элементов (чипов). Иными словами, если система связи, использующая комплементарное кодирование, работает в условиях многопутевого распространения сигналов, то в идеале межсимвольная интерференция, вызванная наложением сигналов с задержками распространения, должна отсутствовать, так как сумма их автокорреляционных функций равна нулю.

Поскольку в стандарте IEEE 802.11 принята дифференциальная квадратурная фазовая модуляция (DQPSK), всего может быть четыре значения фазы, сдвинутые друг относительно друга на 90° . Суть применения CCK состоит в том, что поток транслируемых данных разбивается на группы по 8 бит каждая. Группа заменяется сигналом C из 8 чипов. Каждый чип - это сигнал, фаза которого определяется

квартетом $\Phi_1, \Phi_2, \Phi_3, \Phi_4$ так, что

$$C = (c_1, \dots, c_8) = \left(e^{i(\Phi_1+\Phi_2+\Phi_3+\Phi_4)}, e^{i(\Phi_1+\Phi_3+\Phi_4)}, e^{i(\Phi_1+\Phi_2+\Phi_4)}, -e^{i(\Phi_2+\Phi_4)}, e^{i(\Phi_1+\Phi_2+\Phi_3)}, e^{i(\Phi_1+\Phi_3)}, -e^{i(\Phi_1+\Phi_2)}, e^{i(\Phi_2)} \right).$$

Применительно к квадратурной модуляции действительная и мнимая составляющие относятся к синфазному и квадратурному каналам соответственно/ В группе все 8 бит разбиваются на пары (дибиты), каждому дибиту ставится в соответствие определенный элемент фазового квартета Φ_i . В зависимости от значений дибитов, Φ_i оказывается равным $0, 90, 180$ или 270° . Причем Φ_1 определяется фазой предыдущего символа и четностью текущего символа C в потоке, поэтому модуляция и называется дифференциальной. Можно показать, что при любых значениях дибитов последовательности C оказываются комплементарными.

На приемной стороне, при условии синхронного приема, декодирующее устройство восстанавливает значения $\Phi_1, \Phi_2, \Phi_3, \Phi_4$, а по ним - и значения информационных бит. Поскольку CCK-последовательности комплементарны, при применении техники MIMO возможна их одновременная трансляция. Например, четные чипы (или символы) передаются по одному антенному каналу, нечетные - по другому, при этом они оказываются практически ортогональными.

Развитием принципа DSSS стала технология мультиплексирования с кодовым разделением каналов CDMA (Code Division Multiple Access). При этом на одной частоте излучаются сигналы с различными взаимно ортогональными базами (псевдослучайными кодовыми последовательностями). Причем для коррелятора, настроенного на определенную базовую последовательность, все другие сигналы выглядят как белый шум. Очевидно, что в этом случае при использовании технологии MIMO каждому антенному каналу ставится в соответствие определенный CDMA-код, и сигналы в них оказываются ортогональными.

Помимо кодового разделения каналов, все большее развитие получают системы с разделением на основе ортогональных частот (OFDM). Идея метода - вместо высокоскоростной модуляции одной несущей применять модуляцию набора поднесущих с гораздо меньшей скоростью. Весь диапазон разбивается на несколько ортогональных частот вида $s_n(t) = A \cdot \sin(2\pi [f_0 + n\Delta f]t)$, где $n = 0, \dots, N$; Δf - интервал между поднесущими. Входной поток данных делится на группы (символы), которые используются для одновременной модуляции каждой поднесущей. К символам добавляют защитные интервалы (паузы) как эффективное средство борьбы с межсимвольной интерференцией. Чтобы метод был эффективен, число поднесущих должно быть достаточно большим от десятков до тысяч. Так, в стандарте IEEE 802.11 а и g используют 52 поднесущие,

в стандарте IEEE 802.16 - от 200 до 2048, в спецификации наземного цифрового телевизионного вещания DVB-T - 6817 поднесущих частот. Каждая из них модулируется посредством многоуровневой квадратурной модуляции. Выходной многочастотный сигнал синтезируют посредством обратного быстрого преобразования Фурье (ОБПФ).

Очевидно, что системы OFDM по природе своей приспособлены для применения технологии MIMO, причем различными способами. Техника MIMO-OFDM предусмотрена стандартами IEEE 802.16, проектом IEEE 802.11n (рис. 2), рядом других перспективных разработок в области беспроводных сетей передачи информации.

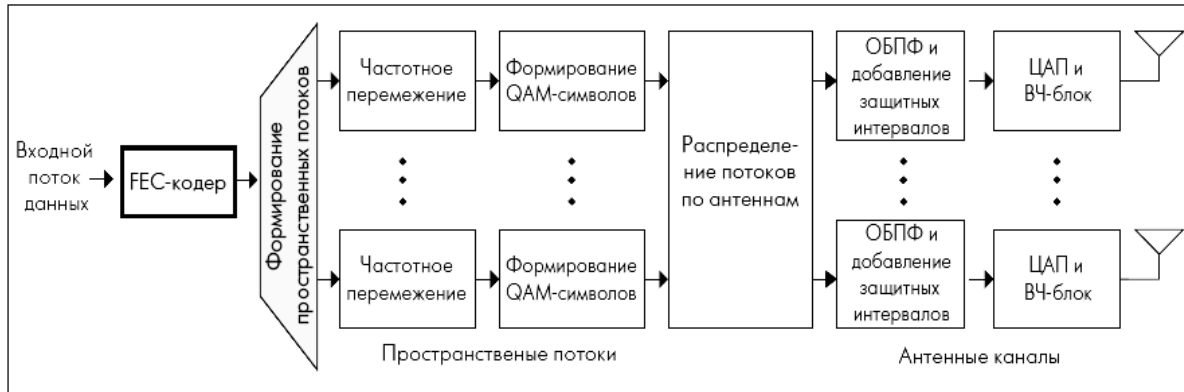


Рис. 2. Система передачи MIMO-OFDM

Следующим шагом развития техники CDMA и ее интеграции с OFDM стало частотно кодовое разделение каналов MC-CDMA (multicarrier CDMA - многочастотный CDMA).

Впервые эта технология была предложена в 1993 году профессором Калифорнийского университета в Беркли Линнарцем (Jean-Paul Linnartz) на традиционном Международном симпозиуме по персональным мобильным и внутри офисным коммуникациям (PIMRC – Personal Indoor and Mobile Radio Communications) в Йокогаме [6]. Изначально предлагалось передавать каждый бит исходного сообщения на нескольких ортогональных поднесущих. На каждой из частот бит должен заменяться CDMA-кодом длины N (рис. 3). В результате на всех поднесущих сигнал оказывается защищенным от межсимвольной и межканальной интерференции дважды частотным и кодовым разделением.

тов используется для формирования OFDM-символов, параллельно транслируемых каждым передатчиком (рис. 4). Такой подход позволяет при одних и тех же номиналах частот разделять каналы передачи MIMO-системы за счет дополнительной ортогональной кодовой модуляции. На приемной стороне из OFDM-сигнала сначала восстанавливаются ортогональные несущие (с помощью БПФ), а затем на каждой из них сигнал декодируется путем корреляционной обработки.

По прошествии времени, в первую очередь в связи с поистине взрывным развитием OFDM-устройств (системы таких массовых стандартов, как IEEE 802.11 a/g, DVB, системы цифрового радиовещания и т.п.), стали появляться различные варианты реализации технологии MC-CDMA. Сегодня ее можно рассматривать как дальнейшее развитие кодированной OFDM-модуляции (COFDM), тем более что как синоним термина MC-CDMA зачастую используется понятие OFDM-CDMA.

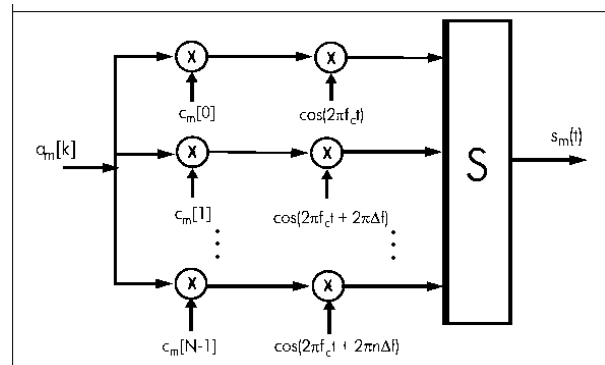


Рис. 3. Система MC-CDMA по Линнарцу [6]

В "классических" системах связи OFDM-CDMA используется один трансивер. В случае применения систем MIMO исходный поток данных разбивается на субпотoki по числу излучателей MIMO-передатчиков.

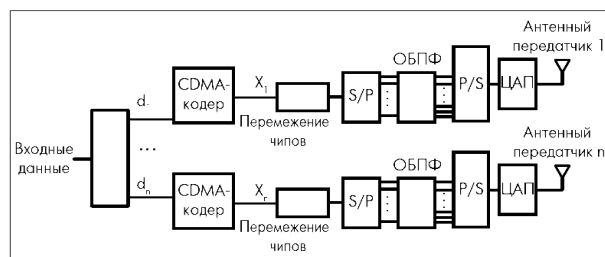


Рис. 4. Система OFDM-CDMA

В каждом субпотокe применяется свой CDMA код, и далее кодированная последовательность би-

Для MIMO-систем возможен и другой вариант реализации MC-CDMA, когда сначала с помощью

ОБПФ синтезується потік OFDM-символів, а затем он подвергается дополнительному CDMA-кодированию. Причем исходный потік OFDM-символів розподіляється на субпотіки для кожного излучателя. Для кожного субпотіка використовується свій CDMA-код, кодера розполагаются перед входом ЦАП антенних излучателей.

При этом сигналы разных антенн имеют одни и те же частоты, а разделение при приеме происходит с помощью CDMA-кода: в приемнике на первом этапе производится корреляционная обработка с восстановлением пакетов гармонических сигналов с непрерывной фазой (свой синусоидальный пакет для каждого излучателя MIMO), а затем восстанавливаются сигналы на каждой ортогональной поднесущей OFDM с помощью БПФ. Оба рассмотренных варианта MC-CDMA по качеству передачи информации, в принципе, равноценны.

Таким образом, в статье приводится анализ алгоритмов обработки сигналов, которые используются в MIMO технологиях. Предлагаемые алгоритмы позволяют достичь значительного (до 15-20 %) увеличения пропускной способности сети передачи данных УВС экологического контроля, особенно для ситуации распространения информации в сложных условиях, за счет снижения ошибок передачи данных.

Выводы

1. В статье исследуется использование компьютерных геоинформационных технологий для обеспечения экологического мониторинга. Анализируются типы сетей передачи информации, которые используются в управляющей вычислительной системе экологического контроля. Определено, что значительная часть используемых сетей является беспроводными сетями и предлагается их построение на базе технологий MIMO.

2. В результате исследований алгоритмов обработки сигналов, которые используются в MIMO технологиях, установлено, что рассмотренные алго-

ритмы обработки MIMO-сигналов позволяют повысить качество передачи информации в сложных условиях и тем самым значительно (до 15-20 %) увеличить пропускную способность линии связи за счет снижения ошибок передачи данных.

Список литературы

1. Передача інформації у гетерогенних комп'ютерних мережах: монографія / О.О. Можасєв. – Харків: НТУ «ХПИ», 2012. – 220 с.
2. Кучук Г.А. Фрактальный анализ процессов, структур и сигналов / Г.А. Кучук, А.А. Можасєв и др. – Х., 2006.
3. Кочура В.О. Моделирование динамических процессов у виртуальных з'єднаннях / В.О. Кочура, Г.А. Кучук, О.О. Можасєв // Збірник наукових праць ОНДІ ЗС. – Х., 2006. – Вип. 2 (4). – С. 217-224.
4. History of MIMO in radio communications. - <http://en.wikipedia.org/wiki/MIMO>.
5. Golay, M.J.E. Complementary series. - IRE Transactions, 1961, IT-7, p.82-87
6. N. Yee, J. P. Linnartz and G. Fettweis. Multi-Carrier CDMA in Indoor Wireless Radio Networks. - Proceedings PIMRC'93, Yokohama, Japan, 1993, p. 109-113.
7. Н. Al-Janabi // Восточно-Европейский журнал передовых технологий «Информационно-управляющие системы». – 2013. – Вып. 4/9 (64). – С. 35–38.
8. Кучук, Г.А. Метод синтезу інформаційної структури зв'язного фрагменту корпоративної мультисервісної мережі / Г.А. Кучук // Збірник наукових праць Харківського університету Повітряних Сил. – Х.: ХУПС, 2013. – Вип. 2. – С. 97-102.
9. Можасєв О.О. Оцінка інформаційної ємності мобільних інформаційних мереж / О.О. Можасєв, І.І. Обод, І.Л. Яценко // Системи обробки інформації. – Х.: ХУПС, 2014. – Вип. 5 (121). – С. 136-138.
10. Можасєв М.О. Особливості моделювання передачі інформації у комп'ютерній мережі системи автоматичної ідентифікації суден./ В.Є. Кузьменко, М.О. Можасєв, В.В. Казімірова // Системи обробки інформації. – Х.: ХУПС, 2014. – Вип. 7 (123). – С.83-88.

Надійшла до редколегії 15.09.2016

Рецензент: д-р техн. наук, проф. Г.А. Кучук, Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», Харків.

ВИКОРИСТАННЯ ТЕХНОЛОГІЇ MIMO В ГЕОІНФОРМАЦІЙНИХ СИСТЕМАХ ЕКОЛОГІЧНОГО МОНІТОРИНГУ

О.О. Можасєв, М.О. Можасєв, М.О. Логвиненко, Наєм Хазім Рахім

У статті досліджується використання комп'ютерних геоінформаційних технологій для забезпечення екологічного моніторингу. Анализуються типи мереж передачі інформації, які використовуються в керуючій обчислювальній системі екологічного контролю. Визначено, що значна частина використовуваних мереж є бездротовими мережами і пропонується їх побудова на базі технологій MIMO. встановлено, що розглянуті алгоритми обробки MIMO-сигналів дозволяють підвищити якість передачі інформації в складних умовах.

Ключові слова: система MIMO, система MC-CDMA, запис Ейлера.

MIMO USING TECHNOLOGY OF GIS ENVIRONMENTAL MONITORING SYSTEM

O.O. Mozhaev, M.O. Mozhaiv, M.O. Lohvynenko, Naaem Hazim Raheem

The paper investigates the use of computer geoinformation technologies for environmental monitoring. Analyzed types of information networks, which are used in the system control computer environmental control. It was determined that a significant part of the network is used wireless networks and offers their construction technology based on MIMO. It found that MIMO-discussed signal processing algorithms are used to improve the quality of information transfer in difficult conditions.

Keywords: MIMO system, MC-CDMA system, the Euler recording.

Зв'язок

УДК 621.391

Р.М. Животовський

Центральний науково-дослідний інститут озброєння та військової техніки ЗС України, Київ

УДОСКОНАЛЕНА МЕТОДИКА АДАПТИВНОГО УПРАВЛІННЯ ПАРАМЕТРАМИ СИГНАЛУ ДЛЯ БЕЗПІЛОТНИХ АВІАЦІЙНИХ КОМПЛЕКСІВ

У статті запропоновано удосконалену методику адаптивного управління параметрами сигналу для безпілотних авіаційних комплексів. Зазначена методика заснована на адаптивному управлінні параметрами сигналу при динамічній зміні сигнально-завадової обстановки та прогнозуванні стану каналів управління та передачі даних.

Ключові слова: безпілотні авіаційні комплекси, сигнально-кодова конструкція, швидкість передачі інформації, ймовірність бітової помилки, радіоелектронне подавлення, прогнозування помилок.

Вступ

Як свідчить досвід останніх локальних конфліктів, військових навчань та бойових дій на Сході України безпілотні авіаційні комплекси все активніше використовуються для вирішення завдань розвідки, забезпечення зв'язку та нанесення вогневих ударів по позиціям противника [1].

В якості базової технології передачі інформації для безпілотних авіаційних комплексів використовують метод ортогонального частотного розділення з мультиплексуванням OFDM (Orthogonal Frequency Division Multiplexing) [2, 4]. Основна особливість OFDM сигналів їх інваріантність до явища багатопроменевості в каналі. Однак цим системам властиві свої недоліки, основними з яких є:

- високий пік-фактор;
- нелінійні спотворення в радіотракті засобів радіозв'язку;
- помилки синхронізації;
- шкідливий вплив навмисних завад.

Також характерною особливістю для каналів зв'язку з безпілотними авіаційними комплексами є необхідність постійного збільшення радіусу дії системи управління та передачі даних, підвищення швидкості передачі даних при роботі в нестабільних умовах поширення радіохвиль. Проведений в роботах [2,4,5] аналіз свідчить про те, що використання технології OFDM не в повній мірі задовольняє усім наведеним вище вимогам до каналів управління і зв'язку з безпілотними авіаційними комплексами.

Одним з напрямків підвищення ефективності систем радіозв'язку є застосування методів просторової обробки сигналів у системах радіодоступу, зокрема технології „багато входів – багато виходів” (Multiple-Input Multiple-Output - MIMO) [5, 6]. У технології MIMO об'єднані просторово-часові мето-

ди прийому з використанням адаптивних антен і методи просторово-часового кодування і просторово-часового розділення сигналів.

Для реалізації просторово-часового розділення сигналів у системах MIMO “множина виходів” (випромінюючих антен) здійснює передачу декількома (у загальному випадку – безліччю) шляхами (променями), а приймається ця множина сигналів, як множина потоків на декілька приймальних антен (рознесених у просторі). Ключовою властивістю MIMO є можливість перетворити ефект багатопроменевого поширення, що значно погіршує якість радіозв'язку, у перевагу для користувача. Так само MIMO робить можливим підвищення експлуатаційних показників радіозв'язку без збільшення необхідної смуги частот системи.

Аналіз різних методів підвищення ефективності систем радіозв'язку [7 – 9] виявляє ряд суперечностей. Так, зростання смуги пропускання каналу дозволяє збільшити пропускну спроможність засобів радіозв'язку, але разом з тим призводить до збільшення потужності шуму в каналі. Збільшення потужності передавача є неефективним і неприпустимим з погляду забезпечення прихованості засобів радіозв'язку та забезпечення електромагнітної сумісності.

Стратегічним напрямом при вирішенні задачі підвищення ефективності системи передачі інформації є перехід від систем з жорсткою структурою до адаптивних систем [9]. В адаптивних системах алгоритми передачі і прийому сигналів можуть узгоджено змінюватися залежно від зміни зовнішніх умов. Алгоритми адаптації повинні дозволяти в умовах мінімальної апріорної інформації досягти оптимальних параметрів системи.

В роботі [11] розроблена методика вибору раціональних значень параметрів сигналу для безпілотних авіаційних комплексів, в якій використані елементи прогнозування стану каналів.

Проте, як свідчить досвід проведення антитеоретичної операції, зазначених заходів боротьби з дестабілізуючими факторами не достатньо.

Пошук альтернатив для організації заводозахисної та швидкісної системи управління і зв'язку для безпілотних авіаційних комплексів показав те, що сумісне використання технології OFDM та MIMO, використання механізмів попереднього вибору робочих частот з урахуванням стратегії комплексів радіоелектронного подавлення, а також прогнозування стану каналів управління та передачі даних для системи управління та зв'язку безпілотних авіаційних комплексів є перспективним та доцільним.

Тому *метою статті* є розробка удосконаленої методики адаптивного управління параметрами сигналу для безпілотних авіаційних комплексів.

Постановка завдання

Задано: параметри передавального пристрою і каналу зв'язку $\Psi = \{\psi_i\}$, $i = \overline{1, n}$, де $\Psi_1 \dots \Psi_n$ – кількість (сукупність) піднесучих, потужність передавача, кількість приймальних та передавальних антен, відношення сигнал/шум в каналі (задається для кожного підканалу окремо), робоча частота, види модуляції, мінімально необхідна швидкість передачі інформації (необхідна пропускна спроможність), смуга пропускання каналу зв'язку, набір коригувальних кодів з відповідними параметрами: швидкість коригувального коду, граничне значення відношення сигнал/шум в каналі, при якому коригувальний код починає давати вигравш порівняно з модуляцією без кодування.

Необхідно: визначити кількість приймальних та передавальних антен, параметри сигналу (кількість активних піднесучих, що будуть використовуватися при передачі повідомлень, сигнально-кодову конструкцію для кожної піднесучої (вид модуляції та коригувального коду), при яких ймовірність бітової помилки мінімізується при обмеженнях на швидкість передачі $v_i \geq v_{i \text{ доп}}$.

Обмеження: вид коригувального коду – згорточні коди зі швидкостями $R = \frac{1}{4}, \frac{2}{5}, \frac{1}{2}, \frac{3}{5}, \frac{3}{4}$; вид сигналу – ФМ-М (квадратурна фазова маніпуляція), КАМ-М (квадратурна амплітудна маніпуляція, розмірність маніпуляції $M = 16, 32, 64, 128, 256$), кількість піднесучих N ($N = 256$); максимально допустима ймовірність помилкового приймання сигналів $P_{\text{б доп}} = 10^{-6}$, $\tau_{\text{гр}} \leq \tau_{\text{кор}}$, де $\tau_{\text{гр}}$ – тривалість групи символів, на які розділяється потік сигналів, $\tau_{\text{кор}}$ – час кореляції замирань, $N_{\text{пд}} \leq 4, N_{\text{пм}} \leq 4$ – кількість приймальних та передавальних антен не більше 4.

Тип завод – адитивні. В залежності від системних вимог вказані обмеження можуть змінюватись.

Допущення: стан передатної характеристики каналу зв'язку $H_{\text{заг}}$ перед передачею чергового OFDM-символу відомий та не змінюється під час

передачі символу: $H_{\text{заг}} = H_1, H_2, \dots, H_N = \sum_{i=1}^N H_i$;

амплітудна характеристика підсилювача потужності передавача лінійна – нелінійні спотворення сигналу відсутні, потужність передавача є незмінною $P_{\text{прд}} = \text{const}$.

Завдання визначення параметрів MIMO-OFDM системи з мінімальною ймовірністю бітової помилки при обмеженнях на швидкість передачі інформації зводяться до типової оптимізаційної задачі.

Система рівнянь для розв'язання оптимізаційної задачі має вигляд

$$\begin{cases} P_{\text{б}} = F_1 \left(v_i, \Delta F, M, n, R, d, P_c, \right) \rightarrow \min; \\ v_i = F_2 (M, R, N_A, \Delta F, Q_i^2, N_{\text{пд}}, N_{\text{пм}}) \geq v_{i \text{ доп}}, \end{cases} \quad (1)$$

де $N_{\text{пд}}, N_{\text{пм}}$ – кількість передавальних та приймальних антен, N_A – кількість активних піднесучих (підканалів, де передається інформація), $N_A = N - N_B$, N_B – підканали, що відключаються, P_c – потужність сигналу в підканалі ($P_c = P_{\text{прд}}/N_A$), G_0 – спектральна щільність потужності шуму, M_i – розмірність ансамблю сигналів, R_i – швидкість коригувального коду ($R_i = k/n$), k – кількість інформаційних біт на вході кодера, n – кількість біт на виході кодера, d_{ff} – величина вільної відстані, що характеризує заводозахисні властивості згорточного коду, i – індекс підканалу, ΔF – ширина спектра сигналу. Значення $P_{\text{прд}}, \Delta F, T_S$ є постійними, значення $G_0, M_i, R_i, d_{\text{ff}}$ – задаються для кожного активного підканалу.

Розкриваємо функціонали системи рівнянь (1). Інформаційна швидкість визначається як

$$v_i = \frac{B}{T_S} = \left(\sum_{i=1}^{N_A} \log_2 M_i \cdot R_i \cdot N_{\text{пд}} \cdot N_{\text{пм}} \right) / T_S, \quad (2)$$

де T_S – тривалість символу, B – кількість OFDM-символів, що передається в одній антені, i – індекс активного підканалу.

Таким чином, вибір раціональних значень параметрів MIMO-OFDM системи для безпілотних авіаційних комплексів зводиться до адаптивного вибору схеми системи MIMO, адаптивного розподілу потужності сигналу між власними антенними каналами, адаптивним управлінням параметрами OFDM-сигналу та адаптивним формуванням сигнально-кодової конструкції для кожної піднесучої.

Результати досліджень

Удосконалена методика адаптивного управління параметрами сигналу для безпілотних авіаційних комплексів для безпілотних авіаційних комплексів складається з наступних етапів.

1. Введення вихідних даних. Вводяться параметри передавального пристрою і каналу зв'язку $\Psi = \{\psi_i\}$, а також значення допустимої величини ймовірності помилкового приймання сигналів $P_{\text{доп}}$ та мінімально необхідної швидкості передачі інформації $v_{i \text{ доп}}$.

2. Вибір робочих частот з урахуванням стратегії засобів радіоелектронного подавлення.

На підставі розробленого в роботах [12, 13] науково-методичного апарату вибору робочих частот для засобів військового радіозв'язку проводиться аналіз радіочастотного ресурсу під час якого здійснюється визначення подавлених частотних діапазонів та стратегії комплексів радіоелектронного подавлення.

3. Прогнозування стану каналів управління та передачі даних.

Розглянемо принцип прогнозування стану каналів управління і передачі даних безпілотних авіаційних комплексів, що реалізований за допомогою розробленої в [3] методиці.

В лінійному тракці прийомопередавача БпАК виділяється полоса субчастот $f_{c1}, f_{c2}, \dots, f_{cN}$, що розміщені біля однієї фіксованої частоти f_{ϕ} . По всій смузі частот здійснюється підтримання сталого рівня сигналу за допомогою цифрової системи автоматичного регулювання потужності передавача. Цифровий синтезатор частот формує сітку сигналів, що надходить на демодулятор. Таким чином, при відсутності корисного сигналу на виході демодулятора формуються відліки $Z_{i1}, Z_{i2}, \dots, Z_{iN}$, в кожний момент $t_i, i = 1, 2, \dots$ дискретного часу. Основна задача статистичного аналізу випадкових полів спостереження $Z_{ij}, i = 1, 2, \dots, j = 1, 2, \dots, N$, є побудова полів спостереження $\hat{x}_{ij}, i = 1, 2, \dots, j = 1, 2, \dots, n$, квантилів полів та виборі номерів $j_{01}, j_{02}, \dots, j_{0m}$, субчастот, в яких квантили завад, та ймовірності бітових помилок будуть мінімальні. Отримані номери субчастот надходять на блок управління. Оцінювання полів квантилів завад пропонується здійснювати в два етапи. На першому етапі здійснюється фільтрація полів квантилів в кожному субканалі незалежно один від одного. Для цього відліки завад в блоках цифрової фільтрації на кожній j -й субчастоті $Z_{ij}, i = 1, 2$, порівнюються зі змінюючим пороговим рівнем $\hat{x}_{ij}, i = 1, 2$. Якщо черговий i -й відлік Z_{ij} перевищує

порогові рівень \hat{x}_{ij} , то значення \hat{x}_{ij} збільшується на величину Δ . Це відбувається з ймовірністю

$$P = \int_x^{\infty} w(z_{ji}) dz_{ji},$$

де $w(z_{ji})$ – щільність розподілу ймовірностей відліків на виході демодулятора j -го частотного каналу в момент часу t_i , p - заданий рівень дійсного значення квантили x_{ij} . Регулярно, через $1/p$ часових інтервалів, значення оцінки \hat{x}_{ij} знижується на величину Δ . Таким чином, кожний цифровий фільтр може бути представлений у вигляді автоматичної системи підстроювання рівня квантили з цифровим інтегратором. Порівняння рівня Z_{ij} з рівнем \hat{x}_{ij} виконується пороговим елементом. Зазначену систему оцінювання квантили на одному підканалі можна розглядати як варіант реалізації псевдоградієнтного адаптивного алгоритму прогнозування стану каналів управління та передачі даних БпАК.

4. Визначення кількості антен у системі МІМО.

На зазначеному етапі обирається, в залежності від стану каналу зв'язку, кількість передавальних та приймальних антен для безпілотного авіаційного комплексу ($N_{\text{пд}} \times N_{\text{пм}}$), з урахуванням необхідного відношення сигнал/шум та необхідної швидкості передачі. Таким чином, якщо задати допустиму швидкість передачі МІМО – системи, усередненої по флуктуаціям сигналів v_{Σ} , тоді порогове значення $\lambda_{\text{порог}}^{(Q^2)}$ для відбору необхідної кількості найбільш потужних власних каналів можна знайти з рівняння:

$$P\left(\lambda_{\text{порог}}^{(Q^2)}, Q_0^2\right) = 1 - \frac{v_{\Sigma}}{v_{\text{max}}}.$$

Отже $\lambda_{\text{порог}}^{(Q^2)}$ залежить від середнього відношення сигнал/шум Q_0^2 , від заданої швидкості передачі даних

$$v_{\Sigma} = \left(\lambda_{\text{порог}}^{(Q^2)} = \lambda_{\text{порог}}^{(Q^2)}(Q_0^2, v_{\Sigma}) \right)$$

і збільшується зі зростанням відношення сигнал/шум Q_0^2 .

5. Розподіл потужності між власними каналами.

За допомогою водоналивного методу, здійснюється розподіл потужності між власними каналами. Дана процедура повторюється з інтервалом $\tau_{\text{тр}}$ тривалість групи символів, на які розділяється потік сигналів.

6. Вибір числа піднесучих. При OFDM груповий сигнал модему на інтервалі передачі одного символу може бути поданий у вигляді [14].

На цьому етапі вибирається кількість піднесучих сигналів з OFDM, при якому забезпечується задане відношення сигнал/шум. Проводиться оцінка передатної характеристики багатопроменевого каналу зв'язку за допомогою пілот-несучих. В загальному випадку оцінка стану каналу може здійснюватися як прямими, так і непрямими методами. Докладніше вони розглянуті в [15].

Також на даному етапі за допомогою методу, запропонованого в [16] оцінюється стан багатопроменевого каналу зв'язку

$$\hat{h}^{\text{УНК}}(k) = \hat{h}^{\text{НК}}(k)W(k);$$

$$\hat{h}^{\text{УНК}} = \text{diag}(W)\hat{h}^{\text{НК}};$$

де ваговий вектор W є перетворенням Фур'є коефіцієнтів вікна, що згладжується, у частотній області.

7. Перетворення каналу з міжсимвольними спотвореннями в сукупність гаусівських каналів без пам'яті.

В реальних частотно-обмежених каналах зв'язку крім адитивного шуму виникає міжсимвольна інтерференція (МСІ), яка викликана пам'яттю каналів. Реакція каналу на послідовність входних сигналів викликає взаємне накладення сигналів на його виході.

У результаті описаного вище перетворення гаусівських каналів з міжсимвольною інтерференцією в сукупність незалежних паралельних гаусівських каналів без пам'яті вхід і вихід кожного каналу пов'язані виразом

$$Z_i = K_i X_i + V_i, \quad i = \overline{0, L-1}.$$

8. Визначення параметрів попередніх спотворень сигналів. Розглянемо підхід до кодування в каналах із МСІ, заснований на синтезі таких сигнально-кодових конструкцій, які враховують „деформацію” простору сигналів при передачі реальним каналом [4].

Для оптимізації параметрів групового сигналу з OFDM вводяться попередні спотворення сигналу на передачі $X_i = \frac{1}{|K_i|} \xi_i$ і корекція на прийомі $\xi_i = b_i Z_i$, де $b_i = e^{-j \arg K_i}$.

9. Визначення середньої потужності сигналу на виході гаусівського каналу без пам'яті (ГКБП). Якщо вихідний канал має істотну нерівномірність амплітудно-частотної характеристики в смузї Найквіста, то отримані канали можуть бути досить різні. Розходження ГКБП повинне враховуватися при побудові сигналів і СКК.

Як правило, у паралельних ГКБП із попередніми спотвореннями використовуються різні алфавіти сигналів із квадратурною амплітудною модуляцією, але з однаковою мінімальною відстанню Евкліда d , що не залежить від номера ГКБП i . Необхідність розгляду цього варіанта пояснюється можливістю побудови на його основі ефективних сигналів і сигнально-кодових конструкцій [17].

10. Впорядкування підканалів у порядку зменшення відношень сигнал/шум на вході приймача. На даному етапі за результатами оцінки передатної характеристики каналу здійснюється присвоєння порядкових номерів кожному підканалу в порядку зменшення відношень сигнал/шум (гірші підканали мають більші порядкові номери):

$$Q_1^2 \geq Q_2^2 \geq \dots \geq Q_N^2.$$

11. Ітераційна процедура відключення підканалів здійснюється шляхом відкидання гіршої половини підканалів (відсіювання гіршої половини підканалів, перерозподіл потужності по підканалах, додавання кращої половини у підканалах). Тоді потужність передавача рівномірно розподіляється між іншими невідключеними (активними) підканалами.

Оскільки за рахунок перерозподілу потужності за рахунок відключених підканалів ВСШ в активних підканалах збільшується, то, можна припустити, що доцільно відключати не всі підканали, для яких $Q_i^2 \leq Q_{\text{доп}}^2$, а тільки їх частину.

12. Вибір раціональних сигнально-кодових конструкцій. На даному етапі зі скінченої кількості коригувальних кодів та видів модуляції, що визначаються вихідними даними, в залежності від поточного ВСШ, для кожного підканалу визначається СКК, яка дозволяє отримати максимальне значення швидкості передачі при забезпеченні заданої ймовірності бітової помилки.

Основні етапи вибору оптимальних сигнально-кодових конструкцій наступні:

На підставі параметрів радіозасобів та каналу зв'язку $\Psi = \{\psi_i\}$, а також значення допустимої величини ймовірності бітової помилки радіозасобів вибираємо розмірність ансамблю сигналів N (конструкції з одномірними, двомірними і багатомірними сигналами), а також структура ансамблю сигналів. Детально розрахунки ймовірності бітової помилки для M позиційних сигналів типу ФМ та КАМ наведені в роботі [17].

Вибирається вид коригуючого коду. По виду завадостійких кодів усі СКК можна розділити на два великі класи: на основі блокових кодів і на основі безперервних кодів. Крім того, окремий клас складають СКК на основі каскадних кодів, що застосовують одночасно блокові і безперервні коди.

Вибирається маніпуляційний код. При узгодженні кодека двійкового завадостійкого коду і модему багатопозиційних сигналів, необхідно використати маніпуляційний код, при якому збільшенню відстані по Хемінгу між кодовими комбінаціями

відповідає більша відстань по Евкліду між сигналами, що відповідають їм.

Пристрій управління вибором параметрів сигналу повинен лише вибрати з множини можливих СКК оптимальну для даного стану каналу.

13. Розрахунок максимальної швидкості передачі в кожному підканалі. Максимальна швидкість у кожному ГКБП при фіксованому q_j визначається таким чином:

$$v \left(q_j, \frac{P_{q_j}}{P_{\text{ш}}} \right) = v \left(q_j, d_E^2 \phi \left(2^{q_j} \right) / P_{\text{ш}} \right).$$

14. Визначення максимальної швидкості передачі групового сигналу. Сумарна швидкість у ГКМСІ задається виразом

$$v = v_0 \frac{1}{N} \sum_{j=1}^Q s_j v \left(q_j, d_E^2 \left(2^{q_j} \right) / P_{\text{ш}} \right),$$

де $s_j = m_j - m_{j-1}, m_0 = 0$ — кількість ГКБП з однаковим алфавітом КАМ.

Оптимізація розглянутого варіанта по швидкості при обмеженій середній потужності сигналу на вході каналу зводиться до вибору оптимальної розбивки паралельних ГКБП на групи з однаковою швидкістю, оптимального вибору алфавітів КАМ і мінімальної відстані d_E в них. Виходячи з цього, максимальна швидкість, яку можна досягнути в ГКМСІ із попередніми спотвореннями і довільними алфавітами КАМ у кожному з паралельних ГКБП за умови, що мінімальна відстань у всіх алфавітах постійна і дорівнює d , задається виразом при обмеженнях, наведених вище, на припустиму середню потужність сигналу на вході ГКМСІ, а

$$s_j = m_j - m_{j-1}, m_0 = 0, \\ 0 < m_1 < m_2 < \dots < m_Q \leq M_1$$

розбивка множини ГКБП на групи з v_j паралельних каналів, у кожному з яких використовується той самий алфавіт КАМ із середньою потужністю

$$P_{q_j} = d_E^2 x \left(2^{q_j} \right).$$

15. Передача чергового символу. В результаті визначаються параметри чергового OFDM-символу: кількість активних підканалів N_A та їх номери, M та R для кожного підканалу, інформація про значення яких передається у складі службової інформації для зустрічної станції.

Висновки

1. В роботі запропоновано удосконалену методику адаптивного управління параметрами сигналу для безпілотних авіаційних комплексів. Новизна розробленої методики полягає у виборі робочих частот з урахуванням стратегії комплексів радіоелект-

ронного подавлення та прогнозуванні стану каналів управління та передачі даних, а також адаптації параметрів гібридної MIMO-OFDM-системи для підвищення ефективності функціонування безпілотних авіаційних комплексів.

2. Новизна методики полягає і у тому, що оптимальні параметри сигнально-кодових конструкцій визначаються для випадку передачі інформації по каналу зв'язку. Також здійснюється адаптивне формування матриці субканалів шляхом адаптивного до сигнально-зададової обстановки вибору структури антенної системи безпілотних авіаційних комплексів, відключення формувачів матриць, тим самим звужуючи або розширюючи частотний діапазон сигналу OFDM (відповідно зменшуючи або збільшуючи кількість субканалів), що необхідно для підвищення енергетичної та частотної ефективності радіозасобів у умовах активної радіоелектронної протидії.

Оптимальні параметри MIMO-OFDM-сигналу для конкретного стану каналу зв'язку визначаються зі скінченної кількості допустимих варіантів, що дозволяє спростити практичну реалізацію модемного обладнання адаптивних систем радіозв'язку.

Виходячи з оцінки ефективності методики вибору раціональних значень параметрів сигналу для безпілотних авіаційних комплексів для максимізації енергетичної ефективності, що склала близько 3-5 дБ в залежності від глибини завмирань у багатопроблемному каналі, можна стверджувати, що на основі границі Шеннона, а частотна ефективність при використанні запропонованої методики та відповідних СКК зростає на величину приблизно 3-4 дБ.

При використанні елементів прогнозування стану каналів управління та передачі даних при виборі раціональних значень параметрів прийомопередавачів безпілотних авіаційних комплексів задоволеність каналів управління та передачі даних зростає в середньому в 1,1 рази, що підтверджується імітаційним моделюванням, проте, знижується частотна ефективність каналів управління та передачі даних.

Тому, для вирішення зазначеної наукової задачі, напрямком подальших досліджень є розробка методики багатокритеріальної адаптації параметрів каналу безпілотних авіаційних комплексів.

Список літератури

1. Чекунов Е. Применение БЛА ВС США в военных конфликтах / Е. Чекунов // Зарубежное военное обозрение. – 2010. – № 7. – С. 53-58.
2. Шишацький А.В. Проведення аналізу напрямів підвищення ефективності функціонування систем радіозв'язку з ортогональним частотним мультиплексуванням / А.В. Шишацький, В.В. Лютов, О.Г. Жук // Науково-технічний журнал "Озброєння та військова техніка". – К.: ЦНДІ ОВТ ЗС України, 2015. – № 4(8)-2015. – С. 22-26.

3. Животовський Р.М. Методика прогнозування стану каналів управління і передачі даних безпілотних авіаційних комплексів / Р.М. Животовський, С.М. Петрук // Збірник наукових праць ЦНДІ ОВТ ЗС України. – К.: ЦНДІ ОВТ ЗСУ, 2016. № 3(63). – С. 127-134.

4. Шишацький А.В. Аналіз завадостійких протоколів, що використовують OFDM-технології / А.В. Шишацький, В.В. Твердохлібов // Науково-практична конференція “Перспективи розвитку автоматизованих систем управління військами та геоінформаційних систем”, тези доповідей, 29 січня 2015 р., Львів: АСВ, 2015. – С. 164-166.

5. Кувшинов О.В. Методологія оперативного управління радіоресурсом військових систем радіозв'язку / О.В. Кувшинов // V-та науково-технічна конференція „Пріоритетні напрямки розвитку телекомунікаційних систем та мереж спеціального призначення” 20-21 жовтня 2010 року, доповіді та тези доповідей, К., ВІПІ НТУУ „КПІ”. 2010. – С. 23-28.

6. Слюсар В. Системи МІМО: принципи побудови та обробка сигналів / В. Слюсар // Електроніка: Наука, Технологія, Бізнес. – 2005. – № 8. – С. 52-58.

7. Кувшинов О.В. Аналіз характеристик систем радіодоступу з технологією МІМО / О.В. Кувшинов, Д.А. Міночкін // Збірник наукових праць Військового інституту Київського національного університету імені Тараса Шевченка. – Вип. 3 – К.: ВІКНУ, 2006. – С. 51-56.

8. Аналіз шляхів вдосконалення засобів радіозв'язку мережі радіодоступу військової телекомунікаційної системи / Т.Г. Гурський, С.О. Кравчук, О.А. Липський [та ін.] // Збірник наукових праць ВІПІ НТУУ “КПІ”. – 2007. – Вип. 1. – С. 30-42.

9. Шишацький А.В. Концепція розвитку засобів радіозв'язку збройних сил провідних країн світу / А.В. Шишацький, О.Г. Жук // Збірник тез доповідей дванадцятій наукової конференції Харківського університету Повітряних Сил ім. Івана Кожедуба “Новітні технології - для захисту повітряного простору” :тези доповідей, 13-14 квітня 2016 року. -Х.:ХУПС ім. І. Кожедуба, 2016. – С. 213.

10. Советов Б.Я. Построение адаптивных систем передачи информации для автоматизированного управления / Б. Советов, В. Стах. – Л.: Энергоиздат, 1982. – 120с.

11. Животовський Р.М. Методика вибору раціональних значень параметрів сигналу для безпілотних авіа-

ційних комплексів з прогнозуванням стану каналів управління та передачі даних / Р.М. Животовський // Системи управління, навігації та зв'язку.— П.: ПНПУ ім. Ю. Кондратюка, 2016. – Вип. 1(37.)— С. 120-125.

12. Шишацький А.В. Алгоритм вибору робочих частот для засобів військового радіозв'язку в умовах впливу навмисних завад / А.В. Шишацький, В.В. Ольшанський, Р.М. Животовський // Системи озброєння і військова техніка. – 2016. – № 2. – С. 62-66.

13 Шишацький А.В. Методика вибору резервних робочих частот в системах радіозв'язку з псевдовипадковою перестроюкою робочої частоти/ А.В. Шишацький, О.В. Кувшинов // Дванадцята наукова конференція Харківського університету Повітряних Сил імен Івана Кожедуба “Новітні технології - для захисту повітряного простору”, тези доповідей, 13-14 квітня 2016 року. -Х.:ХУПС ім. І. Кожедуба, – 2016. – С. 214.

14. Шишацький А.В. Методика формування сигнально-кодових конструкцій OFDM-сигналу в умовах впливу навмисних завад та селективних завмирань / А.В. Шишацький // Системи обробки інформації. – 2015. – № 7. – С. 71-76.

15. Шишацький А.В. Аналіз існуючих методів оцінки стану каналу зв'язку / А.В. Шишацький, В.В. Лютов // VI Науково-технічна конференція “Проблемні питання розвитку озброєння та військової техніки”. – К., 2015. – С. 398.

16. Животовський Р.М. Розробка методу динамічного контролю стану каналу зв'язку в умовах складної радіоелектронної обстановки / Р.М. Животовський, А.В. Шишацький, В.В. Лютов // Збірник наукових праць ЦНДІ ОВТ ЗС України. – К.: ЦНДІ ОВТ ЗСУ, 2016. – № 1 (60). – С. 253-64.

17. Шишацький А.В. Математична модель спотворення сигналу в системах радіозв'язку з ортогональним частотним мультиплексуванням при впливі навмисних завад / А.В. Шишацький, В.В. Лютов, М.В. Борознюк, І.Ю. Рубцов // Системи обробки інформації. – 2016. – № 3. – С. 181-186.

Надійшла до редколегії 8.09.2016

Рецензент: д-р техн. наук, проф. О.В. Кувшинов, Військовий інститут телекомунікацій та інформатизації, Київ.

УЛУЧШЕННАЯ МЕТОДИКА АДАПТИВНОГО УПРАВЛЕНИЯ ПАРАМЕТРАМИ СИГНАЛА ДЛЯ БЕСПИЛОТНЫХ АВИАЦИОННЫХ КОМПЛЕКСОВ

Р.Н. Животовский

В статье предложено методику адаптивного управления параметрами сигнала для беспилотных авиационных комплексов. Указанная методика основана на адаптивном управлении параметрами сигнала при динамическом изменении сигнально-помеховой обстановки и прогнозировании состояния каналов управления и передачи данных.

Ключевые слова: беспилотные авиационные комплексы, сигнально-кодовая конструкция, скорость передачи информации, вероятность битовой ошибки, радиоэлектронное подавление, прогнозирование ошибок.

IMPROVED METHOD OF ADAPTIVE CONTROL PARAMETER SIGNAL FOR UNMANNED AIRCRAFT SYSTEMS

R.M. Zhyvotovskiy

In the article the technique of adaptive control signals parameters for unmanned aircraft systems. The above method is based on adaptive control signal parameters at dynamic change of signal-interference conditions and forecasting of control channels and data transmission.

Keywords: unmanned aircraft systems, signal-code construction, information rate, bit error probability, radio-electronic suppression, forecasting errors.

УДК 621.391

О.Г. Жук

Військовий інститут телекомунікації та інформатизації, Київ

МЕТОДИКА АДАПТИВНОГО УПРАВЛІННЯ РАДІОЧАСТОТНИМ РЕСУРСОМ СИСТЕМ ВІЙСЬКОВОГО РАДІОЗВ'ЯЗКУ В УМОВАХ ВПЛИВУ НАВМИСНИХ ЗАВАД

У статті запропоновано методику адаптивного управління радіочастотним ресурсом систем військового радіозв'язку в умовах впливу навмисних завад, що заснована на виборі вагових коефіцієнтів, які враховують ступінь використання робочих частот в умовах активного радіоелектронного подавлення.

Ключові слова: робочі частоти, сигнально-кодова конструкція, швидкість передачі інформації, ймовірність бітової помилки, радіоелектронне подавлення.

Вступ

Постійне удосконалення засобів радіоелектронної розвідки та радіоелектронного подавлення (РЕП) призвело за останні роки до збільшення ймовірності подавлення засобів радіозв'язку.

Аналіз тактико-технічних характеристик комплексів (РЕП) технічно розвинених країн [1 – 4] показує, що найбільш поширеними є навмисні шумові завади в частині смуги, полігармонічні та імітаційні.

При цьому стратегії постановки навмисних бувають динамічні або статичні [1 – 4].

Існуючий науково-методичний апарат управління радіочастотним ресурсом не достатньо повно враховує стратегії комплексів радіоелектронного подавлення [1 – 9].

Тому *метою статті* є розробка методики адаптивного управління радіочастотним ресурсом систем військового радіозв'язку в умовах впливу навмисних завад з метою підвищення завадозахищеності їх функціонування.

Постановка завдання

З метою формалізації процесу управління системою радіозв'язку в умовах впливу засобів радіоелектронного подавлення розглянемо взаємодію системи радіозв'язку, як сукупності радіоліній різного призначення, що організовані за допомогою засобів радіозв'язку та комплексу радіоелектронного подавлення угруповання РЕП у вигляді процесу протиборства двох антагоністичних систем з протилежними цілями: системи управління радіозв'язком та системи управління комплексу радіоелектронного подавлення (КРП).

При цьому процес управління системою радіозв'язку в умовах складної радіоелектронної обстановки представимо послідовністю трьох підпроцесів [5]:

- збору інформації про стан об'єкту управління;
- прийняття рішення на управління на основі наявної інформації з урахуванням обраного критерію оптимізації;
- доведення прийнятого рішення до об'єкту управління.

Будемо вважати, що в процесі прийняття рішення системам управління ворогуючих сторін відомо реальний стан свого об'єкту управління, об'єкту управління противника, а також апріорні дані, на основі яких формалізуються стратегії управління ворогуючих сторін.

На рис. 1 представлена узагальнена модель процесу формування рішення на управління радіолініями та КРП при їх протидії.

На основі інформації, про реальний стан сторін протиборства $Z_S(Z_R)$ та апріорної інформації про радіолінію та КРП $I_S(I_R)$ шляхом операції оцінювання системою управління радіолініями, системою управління КРП здійснюється оцінка теперішнього стану радіоліній $\hat{Z}_R^{(S)}$, $\hat{Z}_R^{(R)}$ та комплексу РЕП $\hat{Z}_R^{(R)}$, $\hat{Z}_R^{(S)}$.

Отримані оцінки $\hat{Z}_R^{(S)}$, $\hat{Z}_R^{(R)}$, $\hat{Z}_R^{(R)}$, $\hat{Z}_R^{(S)}$ спільно з апріорною інформацією щодо множини стратегій сторін протиборства використовуються для формування стратегій управління $U_S^{(S)}$ та $U_R^{(R)}$, які отримуються на основі рішення оптимізаційних задач, що забезпечують досягнення екстремуму обраного функціоналу $\Phi_U^{(S)}$.

Враховуючи те, що у сучасних засобах радіозв'язку використовуються дискретні сигнали, то в якості критерію ефективності функціонування засобів радіозв'язку оберемо ймовірність бітової помилки $P_{\text{пом}}$.

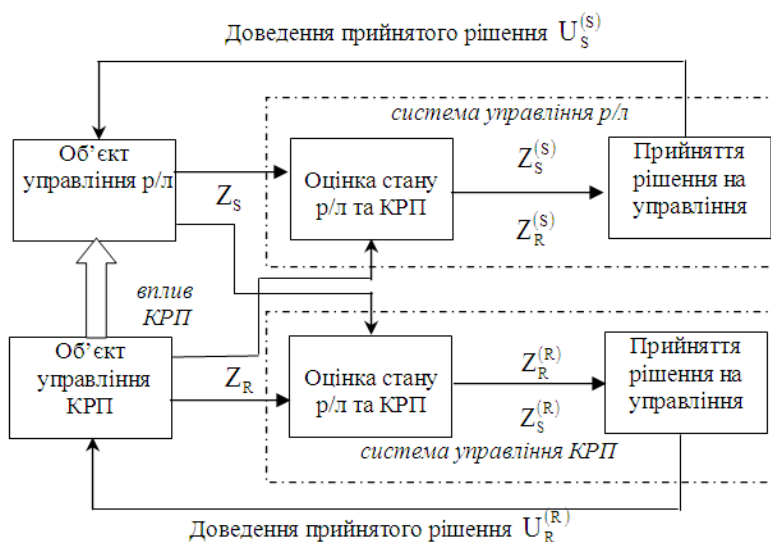


Рис. 1. Узагальнена модель процесу формування рішення на управління радіолініями та КРП при їх протидії

Враховуючі протилежність функціонування радіоліній та КРП, в якості критеріального функціонала при управлінні радіолініями будемо використовувати

$$\Phi_U^{(S)} = \Phi_U^{(R)} = \Phi = P(P_{\text{пом}} \leq P_{\text{пом доп}})_{\text{рп}}$$

Фізично це означає, що якщо формуємі стратегії управління радіоліній $U_S^{(S)}$ направлені на максимізацію функціонала Φ , то керуючий вплив КРП направлений на його мінімізацію

$$U_S^{(S)}: \Phi_U^{(S)} \rightarrow \max; \quad (1)$$

$$U_R^{(R)}: \Phi_U^{(R)} \rightarrow \min. \quad (2)$$

Стратегії управління $U_S^{(S)}$ залежать від виду навмисних завад, тактико-технічних характеристик комплексу РЕП, виду каналів радіозв'язку, РЕП та визначаються вектором коефіцієнта (вагою) використання частот $A = \|\alpha_1, \alpha_2 \dots \alpha_m\|$. Таким чином, для реалізації процесу управління радіочастотним ресурсом визначимо вектор коефіцієнтів (вагу) використання частот A^* при якому функціонал

$$\Phi = P(P_{\text{пом}} \leq P_{\text{пом доп}})_{\text{рп}}$$

приймає екстремальне значення.

Методика адаптивного управління радіочастотним ресурсом систем військового радіозв'язку в умовах впливу навмисних завад, алгоритм реалізації якої наведений на рис. 2, складається з таких етапів.

1. Введення початкових даних (дія 1 на схемі алгоритму). Вводяться параметри засобів радіозв'язку $\Psi = \{\psi_i\}$, а також значення мінімально необхідної швидкості передачі $v_{i \text{ доп}}$ та ймовірності бітової помилки P_6 .

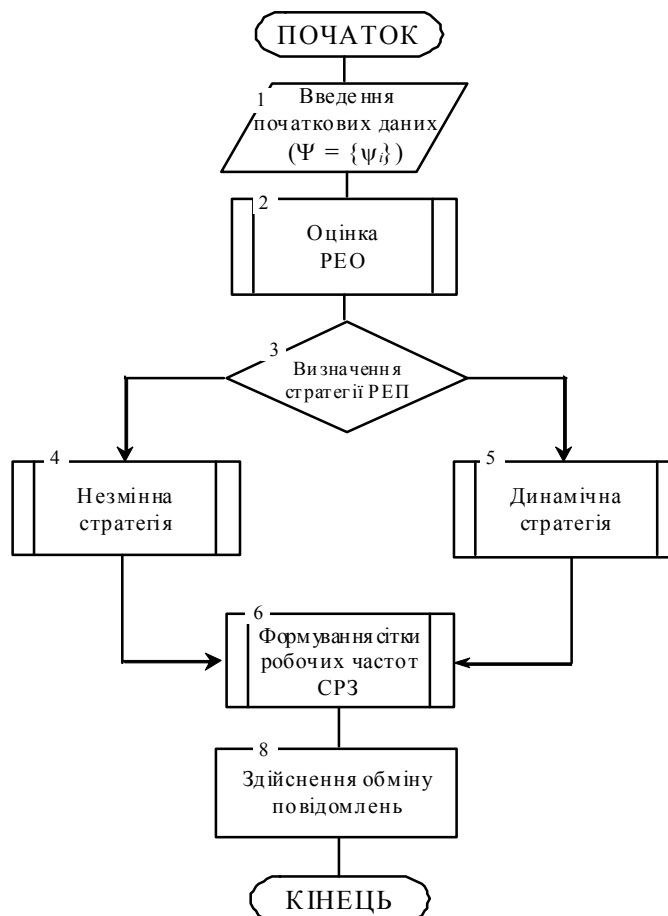


Рис. 2. Алгоритм реалізації методики адаптивного управління радіочастотним ресурсом систем військового радіозв'язку в умовах впливу навмисних завад

2. Оцінка радіоелектронної обстановки (РЕО).

За допомогою методів оцінки, наведених в роботах [1-4], оцінюється вид навмисної завади, зони суцільного радіоелектронного подавлення та параметри комплексів постановки завод.

3. Визначення стратегії комплексів РЕП.

На даному етапі визначається стратегія комплексів радіоелектронного подавлення. Стратегії комплексів радіоелектронного подавлення, що використовуються у розробленій методиці є динамічна та незмінна на час передачі повідомлення у системі радіозв'язку (СРЗ).

Розглянемо детальніше принципи управління радіочастотним ресурсом у кожній зі стратегій управління радіочастотним ресурсом військових систем радіозв'язку.

При цьому розглянемо функціонування СРЗ в умовах впливу різноманітних завод: випадкові завади, одночасного впливу випадкових та шумових завод, полігармонічних, імітаційних навмисних завод.

Особливістю задачі адаптивного управління радіочастотним ресурсом умовах радіоподавлення є необхідність врахування впливу КРП. При цьому цілі СРЗ при передачі інформації та КРП є протилежними. Це викликає необхідність застосування для управління процесом адаптивного управління радіочастотним ресурсом СРЗ в умовах радіоподавлення підходу, що розглядається з позиції взаємодії один з одним двох антагоністичних систем (СРЗ та КРП), які мають протилежні цілі.

Нехай випромінювання здійснюється по m робочим частотам. При цьому U_i стратегія СРЗ зводиться у використанні для передачі інформації i -ї частоти, $i = 1, 2, \dots, m$. Сукупність можливих стратегій управління СРЗ представляє собою множину $\{U_i\}$ потужністю $|\{U_i\}| = m$, а стратегія КРП V_j , що зводиться до постановки завади на j -тій частотах, а множина $\{V_j\}$ потужністю $|\{V_j\}| = m$. Будемо вважати, що при впливі на СРЗ КРП використовує шумову, гармонічну або імітаційну навмисну заваду на частотах роботи СРЗ.

При цьому швидкість програмної перестройки навмисної завади та СРЗ, а також випадковий час випромінювання навмисної завади і сигналів в радіолінії співпадають.

СРЗ та комплексу РЕП відомі множина стратегій управління протилежної сторони, проте відсутня інформація про використовуємі на даний момент часу стратегії управління.

Крім цього задані:

- вид навмисної завади;
- тактико-технічні характеристики комплексу РЕП та апаратури радіозв'язку;

- координати кінцевих точок пунктів прийому та постановки навмисної завади;

- час проведення сеансів радіозв'язку.

Визначимо стратегію адаптивного управління радіочастотним ресурсом для СРЗ в умовах радіоподавлення у вигляді вектора коефіцієнтів використання частот

$$A = \|\alpha_1, \alpha_2 \dots \alpha_m\|,$$

де значення α_i , що характеризує ймовірність використання радіолініями стратегії $U_i, i = 1, 2, \dots, m$, а стратегію впливу КРП, що полягає в постановці навмисних завод у вигляді сигналу КРП, сутність якої полягає у постановці навмисних завод у вигляді імітаційної завади, з вектором $B = \|\beta_1, \beta_2 \dots \beta_m\|$, де значення β_j характеризує ймовірність використання КРП стратегії $V_j, j = 1, 2, \dots, m$.

Значення ймовірностей забезпечення радіозв'язку для СРЗ на m робочих частотах в умовах впливу навмисних випадкових завод представимо матрицею

$$P_{\text{срз}} = \left\| P_{\text{срз } 1} (P_{\text{пом}} \leq P_{\text{пом доп}}) \dots P_{\text{срз } m} (P_{\text{пом}} \leq P_{\text{пом доп}}) \right\|,$$

в умовах навмисних завод – матрицею

$$P_{\text{крп}} = \left\| P_{\text{крп } 1} (P_{\text{пом}} \leq P_{\text{пом доп}}) \dots P_{\text{крп } m} (P_{\text{пом}} \leq P_{\text{пом доп}}) \right\|.$$

Розрахунок ймовірності радіозв'язку на робочих частотах в умовах впливу навмисних завод наведений в [10, 11].

В якості функціоналу при формуванні оптимальних стратегій управління процесом вибору робочих частот оберемо ймовірність радіозв'язку з достовірністю не гірше заданої при i -тій стратегії управління радіолініями U_i та j -ї стратегії впливу КРП V_j

$$\Phi(U_i, V_j) = P(P_{\text{пом}} \leq P_{\text{пом доп}} / U_i, V_j). \quad (3)$$

При формуванні оптимальних стратегій управління процесом вибору робочих частот будемо вважати, що стратегія управління $U_i \in \{U_i\}$ направлена на максимізацію функціоналу $\Phi(U_i, V_j)$, а стратегія $V_j \in \{V_j\}$ на його мінімізацію.

В такій постановці завдання управління процесом вибору робочих частот є задачею теорії ігор [13]. При цьому оптимальною стратегією управління процесом вибору робочих частот, що формується в умовах невизначеності яка використовується в зазначений момент стратегії впливу КРП є стратегія:

$$U_{i \text{ опт}} = \text{Arg} \max_{U_i} \min_{V_j} (P_{\text{пом}} \leq P_{\text{пом доп}} / U_i, V_j). \quad (4)$$

Ймовірність $P(P_{\text{пом}} \leq P_{\text{пом доп}}/U_i; V_j)$ представимо таким чином:

$$P(P_{\text{пом}} \leq P_{\text{пом доп}}/U_i; V_j) = P_{ij} = \begin{cases} P_{\text{сп } i} = \text{при } i \neq j; \\ P_{\text{пп } i} = \text{при } i = j. \end{cases} \quad (5)$$

Тоді ймовірність радіозв'язку з достовірністю не гірше заданої в радіолінії при умовах активного впливу КРП визначимо матрицею

$$P_{ij} = \|P_{ij}\|_{m \times m}. \quad (6)$$

Для формування оптимальної стратегії управління процесом вибору робочих частот для засобів радіозв'язку при функціонуванні в конфліктній ситуації з КРП представимо процес взаємодії засобів радіозв'язку та КРП антагоністичною матричною грою

$$\Gamma = \langle \{U_i\}, \{V_j\}, (P_{\text{пом}} \leq P_{\text{пом доп}}/U_i, V_j) \rangle. \quad (7)$$

Згідно основної теореми теорії ігор [12] кінцева гра має хоча б одне рішення, можливо в області змішаних стратегій. Оптимальна стратегія управління процесом вибору робочих частот має таку властивість, що при будь-якій стратегії КРП противника забезпечує гарантований виграш не менше, ніж ціна гри v . Таким чином

$$\begin{cases} \alpha_{1 \text{ опт}} P_{1 \text{ крп}} + \alpha_{2 \text{ опт}} P_{2 \text{ срз}} + \dots + \alpha_{m \text{ опт}} P_{m \text{ срз}} \geq v; \\ \alpha_{1 \text{ опт}} P_{1 \text{ срз}} + \alpha_{2 \text{ опт}} P_{2 \text{ крп}} + \dots + \alpha_{m \text{ опт}} P_{m \text{ срз}} \geq v; \\ \dots \\ \alpha_{1 \text{ опт}} P_{1 \text{ срз}} + \alpha_{2 \text{ опт}} P_{2 \text{ срз}} + \dots + \alpha_{m \text{ опт}} P_{m \text{ крп}} \geq v. \end{cases} \quad (8)$$

Розділимо нерівність (8) на позитивну величину v та позначимо:

$$\begin{aligned} \xi_1 &= \alpha_{1 \text{ опт}}/v; \\ \xi_2 &= \alpha_{2 \text{ опт}}/v; \\ \xi_m &= \alpha_{m \text{ опт}}/v. \end{aligned}$$

Тоді умови запишуться у вигляді:

$$\begin{cases} \xi_1 P_{1 \text{ крп}} + \xi_2 P_{2 \text{ срз}} + \dots + \xi_m P_{m \text{ срз}} \geq 1; \\ \xi_1 P_{1 \text{ срз}} + \xi_2 P_{2 \text{ крп}} + \dots + \xi_m P_{m \text{ срз}} \geq 1; \\ \dots \\ \xi_1 P_{1 \text{ срз}} + \xi_2 P_{2 \text{ срз}} + \dots + \xi_m P_{m \text{ крп}} \geq 1. \end{cases} \quad (9)$$

Крім цього $\xi_1 + \xi_2 + \dots + \xi_m = 1/v$.

Задачу управління процесом вибору робочих частот для засобів військового радіозв'язку є отримання максимально можливого гарантованого виграшу (v). Таким чином, рішення задачі теорії ігор призводить до рішення задачі лінійного програмування: мінімізація функціонала при обмеженнях наведених в (9).

$$F(\xi) = \xi_1 + \xi_2 + \dots + \xi_m \rightarrow \min_{\xi}. \quad (10)$$

На підставі наведених вище виразів, вирішимо задачу теорії ігор для супротивника: максимізуючи функціонал:

$$F(\gamma) = \gamma_1 + \gamma_2 + \dots + \gamma_m \rightarrow \max \quad (11)$$

при обмеженнях:

$$\begin{cases} \gamma_1 P_{1 \text{ крп}} + \gamma_2 P_{2 \text{ срз}} + \dots + \gamma_m P_{1 \text{ срз}} \leq 1; \\ \gamma_1 P_{1 \text{ срз}} + \gamma_2 P_{2 \text{ крп}} + \dots + \gamma_m P_{2 \text{ срз}} \leq 1; \\ \dots \\ \gamma_1 P_{1 \text{ срз}} + \gamma_2 P_{2 \text{ срз}} + \dots + \gamma_m P_{m \text{ крп}} \leq 1, \end{cases} \quad (12)$$

де $\gamma_1 = \beta_{1 \text{ опт}}/v$, $\gamma_2 = \beta_{2 \text{ опт}}/v$, $\gamma_m = \beta_{m \text{ опт}}/v$.

Рішення гри $\langle \Gamma \rangle$ визначає гарантоване значення ймовірності радіозв'язку з достовірністю не гірше заданої для засобів радіозв'язку:

$$P^*(P_{\text{пом}} \leq P_{\text{пом доп}}/U_i, V_j) = \text{Val} \Gamma,$$

а також вектор коефіцієнтів

$$A^* = \|a_{1 \text{ опт}}, a_{2 \text{ опт}}, \dots, a_{m \text{ опт}}\|$$

та вектор коефіцієнтів

$$B^* = \|\beta_{1 \text{ опт}}, \beta_{2 \text{ опт}}, \dots, \beta_{m \text{ опт}}\|,$$

що задає оптимальну стратегію управління процесом вибору робочої частоти та навмисної завади.

Якщо стратегія управління КРП противника не оптимальна, то значення ймовірності радіозв'язку, для засобів радіозв'язку перевищує гарантоване значення $\text{Val} \Gamma$ при оптимальній стратегії управління процесом управління радіочастотним ресурсом. При довільній стратегії управління процесом управління радіочастотним ресурсом та КРП противника ймовірність радіозв'язку з достовірністю не гірше заданої для СРЗ визначимо виразом:

$$P = (P_{\text{пом}} \leq P_{\text{пом доп}}/U_i, V_j) = \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^m \alpha_i \cdot \beta_j \cdot P_{ij}. \quad (13)$$

Значення коефіцієнту (ваги) використання частот визначаємо часом реакції КРП противника. При малих значеннях часу реакції на робочих частотах КРП противника може використовувати більш ефективну заваду.

Тому, при прийнятті рішення на управління процесом управління радіочастотним ресурсом СРЗ методом теорії ігор необхідно обмежити отримані значення коефіцієнтів (ваг) використання частот $a_i \leq a_{\text{max}}$ при виконанні умов нормування

$$\sum_{i=1}^m a_i = 1.$$

На першому блоці алгоритму (рис. 3) здійснюється введення початкових даних.

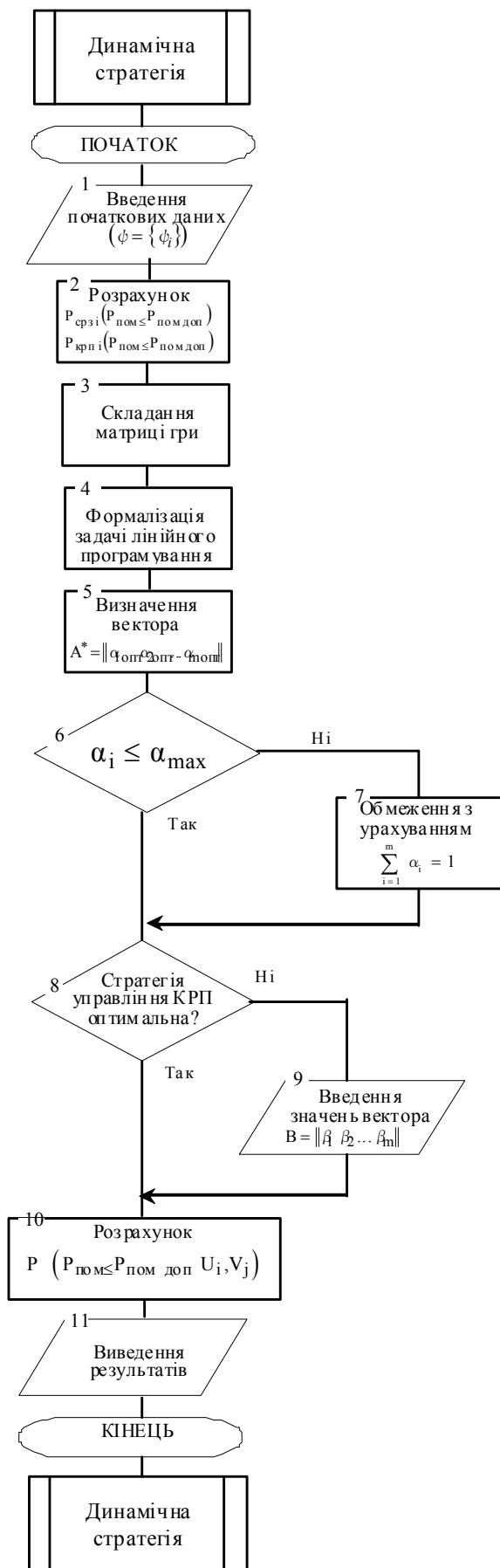


Рис. 3. Алгоритм прийняття рішення на управління радіочастотним ресурсом СРЗ при динамічній стратегії постановки завад

На другому блоці алгоритму здійснюється розрахунок ймовірності радіозв'язку на робочих частотах в умовах впливу випадкових та навмисних завад.

Формалізація матричної гри здійснюється у третьому блоці.

Рішення гри визначають блоки 4 та 5. При цьому для рішення використовується метод лінійного програмування.

В блоках 6-7 здійснюється обмеження значення коефіцієнтів використання частот.

В блоці 10 здійснюється розрахунок ймовірності радіозв'язку з достовірністю не гірше заданої для засобів радіозв'язку з урахуванням стратегії управління постановника завад та засобів радіозв'язку.

В блоці 11 виводяться значення сформованого вектору, що визначає оптимальну стратегію управління для СРЗ та значення ймовірності радіозв'язку не гірше заданої для засобу радіозв'язку з урахуванням стратегії постановника завад.

Припустимо, що програмна перестройка здійснюється по $m=10$ робочим частотам на трасі радіозв'язку. КРП противника здійснює постановку шумової загороджувальної завади в динамічному режимі на всіх частотах.

Визначимо оптимальні стратегії управління для засобів радіозв'язку та комплексу РЕП, а також ймовірність забезпечення радіозв'язку при оптимальних стратегіях управління для засобів радіозв'язку та комплексу РЕП.

Ймовірність забезпечення радіозв'язку на робочих частотах що розраховані за допомогою [10] складають:

в умовах впливу випадкових завад:
0.82 0.94 0.82 0.97 0.94 0.78 0.96 0.87 0.92 0.98 на кожній частоті відповідно.

в умовах додаткового впливу навмисної завади:
0.7 0.85 0.65 0.9 0.84 0.5 0.82 0.67 0.78 0.82 на кожній частоті відповідно.

Складемо матрицю гри.

Рішення гри буде

$$\text{Val} \Gamma = P^* (P_{\text{пом}} \leq P_{\text{пом доп}} / U_i, V_j) = 0.936$$

при

$$A^* = \parallel 0 \ 0.228 \ 0 \ 0.293 \ 0.205 \ 0 \ 0.146 \ 0 \ 0 \ 0.128 \parallel;$$

$$B^* = \parallel 0 \ 0.041 \ 0 \ 0.481 \ 0.037 \ 0 \ 0.169 \ 0 \ 0 \ 0.273 \parallel.$$

При рівномірному законі програмної перебудови навмисної завади та оптимальному управлінні радіочастотним ресурсом значення ймовірності радіозв'язку для засобу радіозв'язку складає

$$P^* (P_{\text{пом}} \leq P_{\text{пом доп}} / U_i, V_j) = 0.87.$$

Таким чином, коефіцієнти (вага) використання частот засобами радіозв'язку та комплексом РЕП при оптимальних стратегіях управління комплексу РЕП та засобів радіозв'язку в загальному випадку не співпадають.

Аналіз тактико-технічних характеристик комплексів РЕБ розвинутих країн [1-6] показує, що найбільш поширеними є навмисні шумові завади в частині смуги, полігармонічні та імітаційні завади. При цьому стратегії постановки навмисних завад на протязі одиниці часу не змінюються.

Під час проведення розрахунку стратегія постановки навмисної завади не змінюється. Крім того, будемо вважати відомими номера робочих частот, на які впливає навмисна завада.

Визначимо стратегію управління радіочастотним ресурсом, при якій забезпечується максимальна достовірність передачі інформації. Для цього сформуємо значення вектора коефіцієнтів (ваги) використання частот

$$A^* = \|\alpha_{1 \text{ опт}}, \alpha_{2 \text{ опт}} \dots \alpha_{m \text{ опт}}\|,$$

який визначає оптимальну стратегію адаптивного управління радіочастотним ресурсом. По зазначеним вихідним даним визначимо значення ймовірності радіозв'язку з достовірністю не гірше заданої на кожній робочій частоті

$$P_i^* (P_{\text{пом}} \leq P_{\text{пом доп}})_i, i = 1, 2, \dots, m$$

з урахування впливу навмисних завад. Виходячи з вимог до розвідзахищеності функціонування системи радіозв'язку введемо обмеження на значення коефіцієнту (ваги) використання частот:

$$\begin{aligned} \alpha_i &\leq \alpha_{\text{max}} \\ \alpha_i &\geq \alpha_{\text{min}}. \end{aligned} \quad (13)$$

Крім цього виконується інша умова нормування

$$\sum_{i=1}^m \alpha_i = 1. \quad (14)$$

В цілях визначення оптимальної стратегії адаптивного управління радіочастотним ресурсом з визначимо вектор коефіцієнтів використання частот

$$A^* = \|\alpha_{1 \text{ опт}}, \alpha_{2 \text{ опт}} \dots \alpha_{m \text{ опт}}\|,$$

який визначає максимальне значення функціоналу Φ при виконанні наступних обмежень:

$$\begin{aligned} A^* &= \|\alpha_{1 \text{ опт}}, \alpha_{2 \text{ опт}} \dots \alpha_{m \text{ опт}}\| : \Phi = \\ &= P_{\text{крп}}^* (P_{\text{пом}} \leq P_{\text{пом доп}}) \rightarrow \max_{\alpha}. \end{aligned} \quad (15)$$

В зазначеній постановці задача формування оптимальних значень вектора

$$A^* = \|\alpha_{1 \text{ опт}}, \alpha_{2 \text{ опт}} \dots \alpha_{m \text{ опт}}\|$$

є задачею лінійного програмування. Для її вирішення використаємо симплекс-метод. В той же час при

$$\alpha_1 = \alpha_2 = \dots = \alpha_m = \alpha_{\text{рівн}} = 1/m$$

досягається більше значення розвідзахищеності. В цьому випадку стратегія управління радіочастотним ресурсом повинні забезпечувати значення

$$|\alpha_i - \alpha_{\text{рівн}}|$$

на кожній частоті роботи засобів радіозв'язку при виконанні вимог з достовірності передачі інформації.

В цілях визначення стратегії адаптивного управління радіочастотним ресурсом в цьому випадку сформуємо вектор

$$A^* = \|\alpha_{1 \text{ опт}}, \alpha_{2 \text{ опт}} \dots \alpha_{m \text{ опт}}\|,$$

що забезпечує мінімальне значення функціоналу:

$$\begin{aligned} \Phi &= |\alpha_1 - \alpha_{\text{рівн}}| + \\ &+ |\alpha_1 - \alpha_{\text{рівн}}| + \dots + |\alpha_m - \alpha_{\text{рівн}}| \rightarrow \min_{\alpha} \end{aligned} \quad (16)$$

при обмеженнях:

$$\begin{aligned} P_{\text{крп}} (P_{\text{пом}} \leq P_{\text{пом доп}}) &= \alpha_1 \cdot P_1^* (P_{\text{пом}} \leq P_{\text{пом доп}}) + \\ &+ \alpha_2 \cdot P_2^* (P_{\text{пом}} \leq P_{\text{пом доп}}) + \dots + \alpha_m \times \\ &\times P_m^* (P_{\text{пом}} \leq P_{\text{пом доп}}) \geq P_{\text{крп}} (P_{\text{пом}} \leq P_{\text{пом доп}}). \end{aligned} \quad (19)$$

$$\alpha_{\text{min}} \leq \alpha_i \leq \alpha_{\text{max}}, \quad \sum_{i=1}^m \alpha_i = 1.$$

В такій постановці задача мінімізації функціонала (16) при обмеженнях (17) є задачею лінійного програмування.

Для рішення задачі сформуємо вектор коефіцієнтів (ваги) використання частот

$$A^* = |\alpha_{1 \text{ опт}}, \alpha_{2 \text{ опт}} \dots \alpha_{m \text{ опт}}|,$$

при якому функціонал

$$\Phi = P_{\text{крп}} (P_{\text{пом}} \leq P_{\text{пом доп}})$$

приймає максимальне значення:

$$\begin{aligned} A^* &= |\alpha_{1 \text{ опт}}, \alpha_{2 \text{ опт}} \dots \alpha_{m \text{ опт}}| : \Phi = \\ &= P_{\text{крп}}^* (P_{\text{пом}} \leq P_{\text{пом доп}}) \rightarrow \max_{\alpha} \end{aligned} \quad (20)$$

при обмеженнях:

$$\begin{aligned} |\alpha_1 - \alpha_{\text{рівн}}| &\leq \chi; \quad |\alpha_2 - \alpha_{\text{рівн}}| \leq \chi; \quad |\alpha_m - \alpha_{\text{рівн}}| \leq \chi; \\ \sum_{i=1}^m \alpha_i &= 1; \quad \chi = |\Delta\alpha|_{\text{max}}. \end{aligned}$$

На рис. 4 наведений алгоритм управління радіочастотним ресурсом систем військового радіозв'язку в умовах впливу навмисних завад з незмінною стратегією постановки завад.

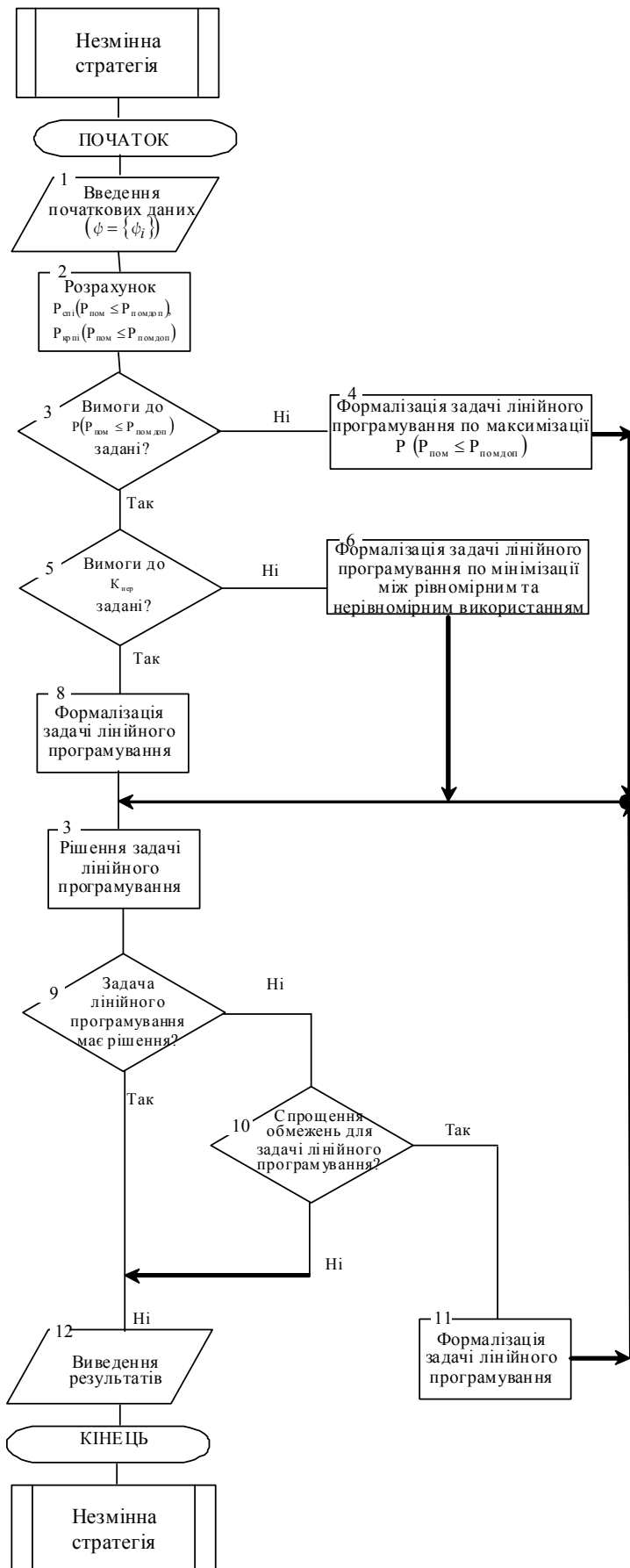


Рис. 4 Алгоритм управління радіочастотним ресурсом систем військового радіозв'язку в умовах впливу навмисних завад з незмінною стратегією постановки завад

В першому блоці алгоритму здійснюється введення початкових даних.

У другому блоці алгоритму здійснюється розрахунок ймовірності радіозв'язку на робочих частотах в умовах впливу навмисних та природних завад.

В блоках 3-7 в залежності від вимог, що висувуються до управління радіочастотним ресурсом СРЗ, виконується задача формалізації задачі лінійного програмування.

В блоці 8 алгоритму виконується рішення задачі лінійного програмування. Якщо задача лінійного програмування не має рішення, то при формалізації задачі задані невиконані вимоги.

В блоках 9-11 використовуються спрощення обмежень.

В блоці 11 виводяться значення сформованого вектору

$$A^* = |\alpha_{1 \text{ опт}} \alpha_{2 \text{ опт}} \dots \alpha_{m \text{ опт}}|,$$

що визначає оптимальну стратегію управління радіочастотним ресурсом системи військового радіозв'язку та значення з урахуванням стратегії впливу навмисних завад.

4. Формування сітки робочих частот засобів радіозв'язку.

Провівши аналіз та розрахувавши стратегії комплексів радіоелектронного подавлення, визначивши райони суцільного радіоелектронного подавлення, визначивши тип та потужність навмисної завади формуються сітки робочих частот для засобів військового радіозв'язку, які входять до системи радіозв'язку, для передачі повідомлень.

Висновки

1. В роботі запропоновано методику адаптивного управління радіочастотним ресурсом систем військового радіозв'язку в умовах впливу навмисних завад, що призначена для підвищення завадозахисності систем військового радіозв'язку та електромагнітної сумісності засобів військового радіозв'язку.

Новизна розробленої методики від відомих полягає у тому, що розроблена методика реалізує управління радіочастотним ресурсом з урахуванням стратегії комплексів радіоелектронного подавлення, виду та тривалості

нависних завад обраного критерію оптимізації а також вибору вагових коефіцієнтів, що враховують ступінь подавлення частот.

2. Використання методів теорії ігор дозволяє сформуванню оптимального управління радіочастотним ресурсом системи військового радіозв'язку при різних стратегіях постановки завад комплексами радіоелектронного подавлення.

Використання розробленої методики дозволяє підвищити завадозахищеність системи військового радіозв'язку в умовах активного радіоелектронного подавлення на 15-25 % у порівнянні з існуючим науково-методичним апаратом.

Напрямок подальших досліджень є розробка методологічних основ адаптивного управління системами військового радіозв'язку в умовах активного радіоелектронного подавлення.

Список літератури

1. Современная радиоэлектронная борьба. Вопросы методологии / [Агафонов А.А., Артюх С.Н., Афанасьев В.И. и др.]; под ред. В. Г. Радзиевского. – М.: Радиотехника, 2006. – 424 с.
2. Кондратьев А. Перспективный комплекс РРТР и РЭВ сухопутных войск США „Профет” / А. Кондратьев // Зарубежное военное обозрение. – 2008. – № 7. – С. 37–41.
3. Черниш О.М. Основи формування нової ідеології ведення радіоелектронної боротьби у війнах і збройних конфліктах майбутнього / О.М. Черниш, С.О. Тищук, С.М. Шолохов // Наука і оборона. – 2006. – № 4. – С. 48–51.
4. Стрелецкий А. Американский перспективный наземный комплекс ведения радиоэлектронной войны „Вулфпак” / А. Стрелецкий // Зарубежное военное обозрение. – 2002. – № 10, – С. 27–28.
5. Срагович В.Г. Теория адаптивных систем / В.Г. Срагович. - М.: Наука, 1976. –320с.
6. Минович А.И. Методология оперативного управления мобильными радиосетями / А.И. Минович, В.А. Романюк // Зв'язок. – 2005. – № 2. – С. 53–58.
7. Шишацкий А.В. Методика управління режимами роботи програмованих засобів радіозв'язку / А.В. Шишацкий, О.Г. Жук, Р.М. Животовський // Науково-технічний журнал “Наука і техніка Повітряних Сил Збройних Сил України”. – Харків: ХУПС, 2016. – № 2(23). – С. 135-137.
8. Шишацкий А.В. Алгоритм вибору робочих частот для засобів військового радіозв'язку в умовах впливу нависних завад / А.В. Шишацкий, В.В. Ольшанський, Р.М. Животовський // Системи озброєння і військова техніка. – 2016. – № 2. – С. 62-66.
9. Шишацкий А.В. Методика вибору резервних робочих частот в системах радіозв'язку з псевдовипадковою перестройкою робочої частоти / А.В. Шишацкий, О.В. Кувшинов // Дванадцята наукова конференція Харківського університету Повітряних Сил імен Івана Кожедуба “Новітні технології - для захисту повітряного простору”, тези доповідей, 13-14 квітня 2016 року. -Х.:ХУПС ім. І. Кожедуба, 2016. – С. 214.
10. Прохоров В.К. Расчет показателей эффективности радиосвязи / В.К. Прохоров, А.Н. Шаров. – Л.: ВАС, 1982. – 132 с.
11. Коржик В.И. Расчет помехоустойчивости систем передачи дискретных сообщений. Справочник / В.И. Коржик, Л.М. Финк, К.Н. Щелкунов. – М.: Радио и связь, 1981. – 232 с.
12. Берзин Е.А. Оптимальное распределение ресурсов и теория игр / Е.А. Берзин. – М.: Радио и связь, 1983. – 216 с.
13. Вентцель Е.С. Теория вероятностей / Е.С. Вентцель М: Государственное изд-во физико-математической литературы, 1962. – 564 с.

Надійшла до редколегії 2.09.2016

Рецензент: д-р техн. наук, проф. О.В. Кувшинов, Військовий інститут телекомунікацій та інформатизації, Київ.

МЕТОДИКА АДАПТИВНОГО УПРАВЛЕННЯ РАДИОЧАСТОТНИМ РЕСУРСОМ СИСТЕМ ВОЕННОЙ РАДИОСВЯЗИ В УСЛОВИЯХ ВОЗДЕЙСТВИЯ ПРЕДНАМЕРЕННЫХ ПОМЕХ

А.Г. Жук

В статье предложено методику адаптивного управления радиочастотным ресурсом систем военной радиосвязи в условиях воздействия преднамеренных помех, которая основана на выборе весовых коэффициентов, которые учитывают степень использования рабочих частот в условиях активного радиоэлектронного подавления.

Ключевые слова: рабочие частоты, сигнально-кодовая конструкция, скорость передачи информации, вероятность битовой ошибки, радиоэлектронное подавление.

METHOD OF ADAPTIVE CONTROL OF THE RADIO FREQUENCY RESOURCE SYSTEM OF MILITARY RADIO LINK IN CONDITIONS THE IMPACT OF INTENTIONAL INTERFERENCE

A.G. Zhuk

In article offered method of adaptive control of the radio frequency resource system of military radio link in conditions the impact of intentional interference, which based on the selection of weighting coefficients taking into account the extent of use of operating frequencies in conditions of active jamming.

Keywords: operating frequencies, signal-code construction, speed of information transmission, probability of bit error, radio electronic suppression.

АЛФАВІТНИЙ ПОКАЖЧИК

Артюх Р.В.	77	Ліщенко В.М.	27	Самофалов Л.Д.	38
Атрасевич О.В.	132	Логвиненко М.О.	135	Свид І.В.	107
Березюк І.А.	99	Майстренко Г.В.	80	Свистунов Ю.Д.	92
Василенко Д.Є.	71	Мальцев О.С.	80	Семенов С.Г.	99
Галелюк Р.Б.	24	Могілатенко А.С.	3	Собчак А.П.	118
Голян В.В.	38	Можаєв О.О.	135	Сукач С.В.	126
Голян Н.В.	38	Можаєв М.О.	135	Теут В.М.	129
Гусєв В.М.	126	Наєм Хазім Рахім	135	Триснюк В.М.	132
Даниленко О.Ф.	17	Нечаус А.А.	24	Туркіна В.В.	102
Данілов Ю.О.	3	Нечаусов С.М.	17	Хлуд О.М.	62
Дьяков О.Г.	17	Нечипоренко А.С.	57	Чала Л.Е.	107
Животовський Р.М.	140	Обод І.І.	80	Чалий В.В.	27
Жук О.Г.	146	Оленченко В.Т.	87	Черних О.П.	80
Захарченко Р.В.	20	Олізаренко С.А.	83	Чуприна А.С.	110
Зуєв П.П.	12	Павленко В.М.	118	Шабанова-	
Іохов О.Ю.	87	Павленко М.А.	3	Кушнарєнко Л.В.	67
Карлов А.Д.	27	Пакін В.В.	110	Шабанов-	
Кононов Б.Т.	24	Панкратов О.В.	62	Кушнарєнко С.Ю.	67
Косенко В.В.	77	Петренко О.М.	33	Шевяков Ю.І.	114
Куравська Н.М.	24	Попова О.І.	118	Шостак І.В.	118
Лавров О.Ю.	83	Рассомахин С.Г.	42	Шульга О.В.	15
Лавровська Т.В.	42	Романова Т.Є.	62		
Левківський Р.М.	126	Сальніков О.М.	87		

Наукове видання

СИСТЕМИ УПРАВЛІННЯ, НАВІГАЦІЇ ТА ЗВ'ЯЗКУ

Збірник наукових праць

Випуск 3 (39)

Відповідальна за випуск *К. С. Козелкова*Технічний редактор *Т. В. Уварова*Коректор *О. В. Морозова*Комп'ютерна верстка *Н. Г. Кучук*Оформлення обкладинки *І. В. Львіна*

Свідчення про державну реєстрацію КВ № 19512-93/2ПР від 16.11.2012 р.

Формат 60×84/8. Ум.-друк. арк. 19,25. Тираж 150 прим. Зам. 1021-16

Адреса редакції: Україна, 36011, м. Полтава, Першотравневий проспект, 24, тел. (066) 706-18-30
Полтавський національний технічний університет імені Юрія КондратюкаВіддруковано з готових оригінал-макетів у друкарні ФОП Петров В.В.
Єдиний державний реєстр юридичних осіб та фізичних осіб-підприємців.
Запис № 2480000000106167 від 08.01.2009.61144, м. Харків, вул. Гв. Широнінців, 79в, к. 137, тел. (057) 778-60-34
e-mail: bookfabrik@mail.ua