

УДК 519.7:004.8

Е.И. Кучеренко, И.С. Творошенко

Харьковский национальный университет радиоэлектроники, Харьков

ПРИКЛАДНЫЕ АСПЕКТЫ МОДЕЛИРОВАНИЯ НЕЧЕТКИХ ПРОЦЕССОВ В СЛОЖНЫХ СИСТЕМАХ

Рассмотрены вопросы повышения достоверности принятия решений в задачах анализа состояния объекта исследования в условиях неопределенности с использованием интеллектуальных технологий и методов моделирования процессов на основе нечеткой интервальной логики и развития нечетких интервальных сетей Петри.

Ключевые слова: нечеткие сетевые модели, нечеткая интервальная логика, нечеткие интервальные высказывания, коэффициент уверенности.

Введение

В настоящее время большое значение приобретает использование интеллектуальных систем принятия решений для решения объемных, трудно формализуемых задач в различных предметных областях. Эти задачи характеризуются, как правило, отсутствием или сложностью формальных алгоритмов решения, неполнотой и нечеткостью исходной информации, нечеткостью достигаемых целей. Данные особенности приводят к необходимости использования в процессе принятия решения знаний, полученных от человека-эксперта в предметной области, и разработки интеллектуальных систем принятия решений, осуществляющих сбор и управление этими знаниями, принимающими решения об оптимальном способе достижения целей в условиях неполноты и нечеткости.

Интеллектуальные системы принятия решений, способные формализовывать нечеткую информацию и обрабатывать ее в рамках нечетких алгоритмов, получили название нечетких интеллектуальных систем принятия решений, работающих в условиях неопределенности. Такие системы удобно использовать для решения задач моделирования и принятия ответственных решений в различных предметных областях: биомедицинская диагностика; управление мобильными роботами; нечеткие онтологии и т.п. Важным фактором для повышения достоверности решений, снижения моментов субъективного характера, что актуально для рассматриваемых областей, является применение математических методов [1 – 3], включая мягкие вычисления.

В данной статье рассматриваются вопросы повышения достоверности принятия решений в области медицины. Задача принятия решений в медицинских системах особенно актуальна, от этого решения зависит жизнь человека. Существует много публикаций, содержащих описание автоматизации процессов сбора и обработки медицинской информации, на основании которых были разработаны специализированные экспертные системы типа MYCIN, ARAMIS, NEUREX, PUFF [4], но все они на сегодняшний день базируются на устаревших подходах, а их информа-

ционная база практически не обновлялась. В процессе эксплуатации эти системы показали себя не универсальными разработками, существовала проблема постановки диагноза, так как пациент мог быть болен несколькими болезнями одновременно. Кроме того, к существенным недостаткам MYCIN следует отнести то, что описаны не все инфекционные заболевания крови, система также не рассчитана на коммерческое применение. Это говорит о ряде существенных недоработок при проектировании, что снижает качество работы данных систем. Особенностью существующих структур, построенных с помощью нечетких сетей Петри [5,6], является возможность представления нечетких процессов и динамики их взаимодействия. К недостаткам таких систем относят отсутствие возможности учета множества параметров, показателей и характеристик, без которых сложно представить реальные процессы практических реализаций. Кроме того, ограничена возможность задания показателей нечеткости маркировки и компонент функции инцидентности, что существенно ограничивает возможности исследователя.

Современные разработки должны также ориентироваться на наличие ресурсов глобальной сети Internet, с помощью которой врач может получить нужную информацию и консультацию в ведущих медицинских центрах мира. Следует отметить, что Internet имеет существенные недостатки [4], к которым следует в первую очередь отнести большую разветвленность, однако, исходя из ситуации и места, в котором оказался пациент, это, пожалуй, единственный наиболее доступный способ передачи и получения данных. В [7] был описан метод, разработанный с использованием новейших достижений в области интеллектуальных технологий, который во многом универсальнее существующих структур. С помощью этого метода в [8, 9] была предложена структура и описаны функции интеллектуальных средств принятия решений.

В этой статье будут отображены прикладные аспекты моделирования нечетких процессов принятия решений, содержащие научные результаты предыдущих публикаций [7 – 9].

Постановка задачи исследования

Необходимо создать новый класс расширенных интерпретированных нечетких сетей Петри свободный от указанных выше недостатков. Эти структуры должны характеризоваться:

- возможностью создания нечетких сетевых моделей, обладающих естественной интерпретацией, простотой описания и моделирования взаимодействующих нечетких динамических процессов, определенных на множестве отношений «условие-действие» с учетом реальных параметров, характеристик, показателей и ограничений предметной области;
- формальным представлением критериев решения прикладных и теоретических задач;
- адаптацией класса задач к предметной области;
- возможностью решения комплекса поставленных задач как единой проблемы создания моделей, критериев, методов, интеллектуальных технологий и эффективных инструментальных средств с использованием современных информационных технологий и предложенных формальных критериев.

Подходы к решению поставленной задачи

Пусть задан нечеткий динамический объект (НДО). Под НДО будем понимать взаимодействующие объекты нечетких сетевых моделей, которые создаются в процессе моделирования, характеризуются стойкой структурой, имеют хотя бы один нечеткий атрибут, а содержание атрибутов и свойств изменяется во времени согласно динамике развития смоделированных процессов.

Пусть НДО описывается такими элементами:

$\tilde{P}_j(\text{in})$	\tilde{t}_i	$\tilde{P}_j(\text{out})$	μ	$\Delta\mu_i$	X	Y	Z	M_{pj}
--------------------------	---------------	---------------------------	-------	---------------	---	---	---	----------

где $\tilde{P}_j(\text{in})$ – значение входной информации; \tilde{t}_i – значение действия; $\tilde{P}_j(\text{out})$ – значение выходной информации; μ – значение функции принадлежности входного сигнала; $\Delta\mu_i$ – интервальное значение функции принадлежности, заданное в виде графика $\Delta\mu_i(x)$; X, Y, Z – координаты объекта в географической информационной системе (ГИС); M_{pj} – маркировка при срабатывании сигнала.

ГИС – системы, предназначенные для сбора, хранения, анализа и графической визуализации пространственных данных и связанной с ними информации о представленных в ГИС объектах. Другими словами, это инструменты, позволяющие пользователям искать, анализировать и редактировать цифровые карты, а также дополнительную информацию об объектах, например адрес и телефон человека. Примерами таких ГИС являются программы ArcGIS, ArcPad, NAVSTAR GPS [10].

Пусть есть некоторая функция $\Delta\mu_1(x)$, которая описывается зависимостью вида

$$y_1(x) = \begin{cases} 0, & x \leq a \\ \frac{x-a}{b-a}, & a \leq x \leq b \\ \frac{c-x}{c-b}, & b \leq x \leq c \\ 0, & c \leq x \end{cases}$$

и функция $\Delta\mu_2(x)$, которая описывается зависимостью $y_2(x) = 1 - e^{-k(x-f)^2}$.

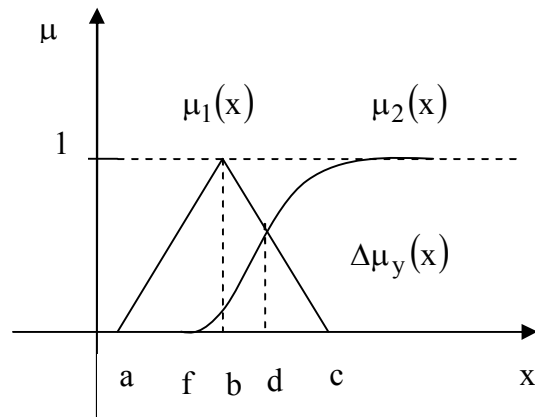


Рис. 1. Графическое представление пересечения двух интервальных функций принадлежности

Результирующее значение $\Delta\mu_y(x)$ будет находиться в пределах «больше чем $\Delta\mu_1(x)$ и меньше, чем $\Delta\mu_2(x)$ ». Как показано на рисунке 1, пересечение двух интервальных функций принадлежности $\Delta\mu_1(x)$ и $\Delta\mu_2(x)$ образует область пересечения, площадь которой описывается фигурой fdc . В данном случае для определения значения $\Delta\mu_y(x)$ целесообразно и удобно использовать принцип «центра тяжести (масс)», который позволяет получить необходимый результат при решении такого класса задач:

$$\Delta\mu_y(x) = \frac{\sum_{i=0}^1 \Delta\mu_i(x) S_i}{\sum_{i=0}^1 S_i},$$

где $\Delta\mu_y(x)$ – значение результирующей интервальной функции принадлежности; $\Delta\mu_i(x)$ – значение интервальных функций принадлежности; S_i – площадь области пересечения.

Построение модели на основе нечеткой интервальной логики

Под нечетким интервальным высказыванием \tilde{d} мы понимаем высказывание, степень истинности которого $\mu(d)$ определяется парой (μ_1, μ_2) , где $0 \leq \mu_1 \leq \mu(d) \leq \mu_2$, что содержательно означает, что степень истинности высказывания d не меньше

μ_1 , но и не больше $\neg\mu_2$, где \neg – любая непрерывная функция.

Пусть \tilde{d}_1 и \tilde{d}_2 – нечеткие интервальные высказывания, степень истинности которых определяется парами $\mu_1(d_1); \mu_2(d_1)$ и $\mu_1(d_2); \mu_2(d_2)$ соответственно. Тогда под степенями истинности высказываний $d_1 \wedge d_2, d_1 \vee d_2$ и $\neg d_1$ понимаем соответственно пары $(\mu_1(d_1)T\mu_1(d_2); \mu_2(d_1)S\mu_2(d_2)), (\mu_1(d_1)S\mu_1(d_2); \mu_2(d_1)T\mu_2(d_2))$ и $(\mu_2(d_1); \mu_1(d_1))$, где T и S – некоторые непрерывные функции. Нечеткие интервальные сети Петри (НИСП) определим как набор символов [5]:

$$\tilde{S} = \{ \tilde{P}, \tilde{T}, \tilde{F}, \tilde{M}_0, \tilde{D}, \tilde{B}, \tilde{C}, \tilde{\Lambda} \}, \quad (1)$$

где $\tilde{P} = \{ p_1, p_2, \dots, p_m \}$ – конечное множество позиций;

$\tilde{T} = \{ t_1, t_2, \dots, t_n \}$ – конечное множество переходов;

$$\tilde{F} = \tilde{I} \cup \tilde{O}, \quad (2)$$

где $\tilde{I}: \tilde{T} \rightarrow \tilde{P}^\infty$ – функция, ставящая в соответствие каждому переходу множество позиций, в него входящих; $\tilde{O}: \tilde{T} \rightarrow \tilde{P}^\infty$ – функция, ставящая в соответствие каждому переходу множество позиций, из него выходящих; $\tilde{M}_0: \tilde{P} \rightarrow [0; 1]$ – начальная маркировка сети; $\tilde{D} = \{ d_1, d_2, \dots, d_m \}$ – конечное множество высказываний; $\tilde{B}: \tilde{P} \rightarrow \tilde{D}$ – соответствие между позициями и высказываниями; $\tilde{C}: \tilde{T} \rightarrow [0; 1]$ – степени уверенности; $\tilde{\Lambda}: \tilde{T} \rightarrow [0; 1]$ – пороговые значения.

Начальная маркировка сети \tilde{M}_0 (1) может быть получена следующим образом. Изначально всем позициям p_i сети по умолчанию ставится в соответствие число 0, что содержательно означает, что степени истинности μ высказываний d , соответствующих этим позициям, не меньше 0, то есть $\tilde{M}_0 = 0$ и $\mu(p_i) = 0$. Если в базе данных имеется степень истинности высказывания d_i $\mu(d_i) = (\mu_1(d_i); \mu_2(d_i))$, то полагаем $\mu(p_i) = \mu_1(d_i)$ и $\mu(\neg p_i) = \mu_2(d_i)$, где $\neg p_i$ – позиция, соответствующая высказыванию $\neg d_i$.

Так полученный набор функций $\{ \mu(p_1), \mu(p_2), \dots, \mu(p_m) \}$ образует начальную маркировку \tilde{M}_0 с последующим моделированием и модификацией на некотором множестве маркировок $\{ \tilde{M}_j \}$, $j \in J$. Такой подход, в отличие от классической сети Петри, реализует распространение маркировок на множество $\{ \tilde{M}_j \}$.

Исходя из поставленной задачи, целесообразно использовать такие виды функций принадлежности:

– треугольную функцию принадлежности (рис. 2)

$$\mu(x) = \begin{cases} 0, & x \leq a \\ \frac{x-a}{b-a}, & a \leq x \leq b \\ \frac{c-x}{c-b}, & b \leq x \leq c \\ 0, & c \leq x \end{cases}; \quad (3)$$

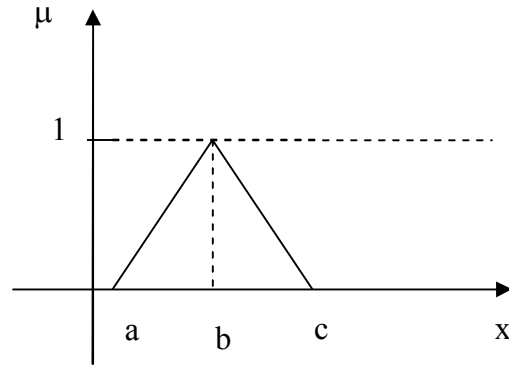


Рис. 2. Графическое представление треугольной функции принадлежности

– трапецевидную функцию принадлежности (рис. 3)

$$\mu(x) = \begin{cases} 0, & x \leq a \\ \frac{x-a}{b-a}, & a \leq x \leq b \\ 1, & b \leq x \leq c \\ \frac{d-x}{d-c}, & c \leq x \leq d \\ 0, & d \leq x \end{cases}; \quad (4)$$

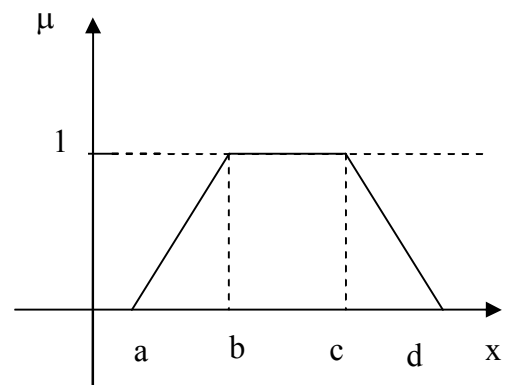


Рис. 3. Графическое представление трапецевидной функции принадлежности

– симметричную гауссовскую функцию принадлежности (рис. 4)

$$\mu(x) = \begin{cases} 0, & x \leq a \\ \frac{2(x-a)^2}{(b-a)^2}, & a < x \leq \frac{a+b}{2} \\ 1 - \frac{2(x-a)^2}{(b-a)^2}, & \frac{a+b}{2} < x < b \\ 1, & x \geq b \end{cases} \quad (5)$$

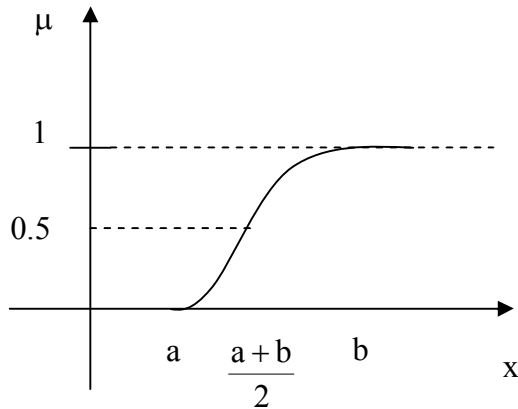


Рис. 4. Графічне представлення гауссової функції належності

Степени уверенности \tilde{C} экспертов используются при моделировании рассуждений для получения новых степеней истинности на основе функций принадлежности (3) – (5). Это дает дополнительную информацию о степени истинности следствий при истинностях посылок равных единице.

Моделирование процессов интеллектуальных систем принятия решений в практических реализациях

С применением подходов, описанных выше и в [7 – 9], была построена модель выбора диагноза лучшего (достоверного) в некотором конкретном смысле [7], в этой статье представлена пошаговая работа метода.

Структурная схема решения поставленной задачи [7] содержит 12 основных блоков, которые выполняют ряд функций [9] и обеспечивают работу метода в целом, реализуя следующую стратегию:

1. Система мониторинга, которая обеспечивает работу системы в диалоговом режиме;

2. Первый этап анализа состояния объекта позволяет с помощью логического вывода на основе субъективных данных получить множество решений $D_{ij}^{(1)}$ с определенными коэффициентами уверенности KY_{ij} и последующим уточнением их состояния на множестве решений $D_{ij}^{(2)}$, $D_{ij}^{(3)}$, $D_{sj}^{(4)}$ либо выдает заключение об отсутствии какого-либо решения из решаемого класса задач $\tilde{D}_{\text{закл}}$;

3. Второй этап анализа состояния объекта позволяет с помощью логического вывода на основе известных факторов получить множество решений $D_{ij}^{(2)}$ с определенными коэффициентами уверенности KY_{ij} , уточнить результат первого этапа анализа состояния объекта $D_{ij}^{(1)}$, а также провести последующие уточнение их состояния на множестве решений $D_{ij}^{(3)}$, $D_{sj}^{(4)}$ либо выдает заключение об отсутствии какого-либо решения из решаемого класса задач $\tilde{D}_{\text{закл}}$;

4. Третий этап анализа состояния объекта позволяет с помощью логического вывода на основе результатов лабораторных обследований получить множество решений $D_{ij}^{(3)}$ с определенными коэффициентами уверенности KY_{ij} .

Он уточняет результат первого и второго этапов анализа состояния объекта $D_{ij}^{(1)}$ и $D_{ij}^{(2)}$, а также проводит последующие уточнение их состояния на множестве решений $D_{sj}^{(4)}$ либо выдает заключение об отсутствии какого-либо решения из решаемого класса задач $\tilde{D}_{\text{закл}}$;

5. Четвертый этап анализа состояния объекта позволяет с помощью логического вывода на основе дополнительных данных получить множество решений $D_{sj}^{(4)}$ с определенными коэффициентами уверенности KY_{sj} .

Он уточняет результат первого, второго и третьего этапов анализа состояния объекта $D_{ij}^{(1)}$, $D_{ij}^{(2)}$ и $D_{ij}^{(3)}$, а также с помощью всех предыдущих уточнений состояния объекта выдает заключительное решение $D_{\text{закл}}^{(4)}$ с максимальным коэффициентом уверенности $KY_{sj} \rightarrow \max$ либо выдает заключение об отсутствии какого-либо решения из решаемого класса задач $\tilde{D}_{\text{закл}}$;

6. Обработка и анализ полученной информации после первого и второго этапов анализа состояния объекта исследования позволяют отобрать наиболее значимые результаты и в дальнейшем работать только с ними;

7. Обработка и анализ полученной информации после третьего этапа анализа состояния объекта исследования с учетом результатов анализа первого и второго этапов анализа состояния объекта исследования позволяют отобрать наиболее значимые результаты и в дальнейшем работать только с ними;

8. Обработка и анализ полученных результатов после четвертого этапа анализа состояния объекта исследования с учетом результатов анализа третьего этапа анализа состояния объекта исследования по-

зволяют отобрать результат с наибольшим коэффициентом уверенности;

9. Результат после первого и второго этапов анализа состояния объекта исследования выдает множество решений с определенными коэффициентами уверенности, а также рекомендации соответствующие данным решениям либо рекомендации к сбору необходимой информации для получения более четкого решения;

10. Результат после третьего этапа анализа состояния объекта исследования выдает множество решений с определенными коэффициентами уверенности, а также рекомендации соответствующие данным решениям либо рекомендации к сбору необходимой информации для получения более четкого решения;

11. Результат после четвертого этапа анализа состояния объекта исследования выдает одно решение с максимальным коэффициентом уверенности;

12. Заключительное решение с определенным коэффициентом уверенности.

Некоторые решения на отношениях $R_{2,3}$, $R_{2,12}$, $R_{9,12}$, $R_{10,5}$, $R_{10,8}$, $R_{10,12}$, $R_{11,12}$ могут быть уточнены лицом принимающим решения (ЛПР). Это обычно определяется ответственностью решений и позволяет снизить требования к уровню квалификации персонала, одновременно повышая достоверность решений.

Структурная схема построения и взаимодействия основных модулей системы представлена в [9]. Она состоит из: подсистемы приобретения знаний о заболеваниях (ППЗЗ); подсистемы обработки и формализации исходных данных и знаний (ПОФИДЗ); подсистемы логического вывода; подсистемы регистрации и обработки данных; подсистемы формирования решений и рекомендаций (ПФРР); блока моделирования и настройки $\mu(x)$ (МИН); интерфейса с ЛПР; пациента.

Выводы

В данной статье предложен новый подход к моделированию нечеткого логического вывода о состоянии сложного объекта, который учитывает неточности в базе данных и неуверенности в базе знаний. Для моделирования логических рассуждений в условиях

неопределенности получила дальнейшее развитие модель сети Петри на основе нечеткой интервальной логики, которая может моделировать нечеткие рассуждения. Такой подход позволяет повысить достоверность принимаемых решений в условиях неопределенности и жестких ограничений на ресурсы.

Список литературы

1. Новак В. Математические принципы нечеткой логики : пер. с англ. / В. Новак, И. Перфильева, И. Мочкож. – М.: Физматлит, 2006. – 352 с.
2. Сараев А.Д. Системный анализ и современные информационные технологии / А.Д. Сараев, О.А. Щербина // Труды Крымской Академии наук. — Симферополь: СОНАТ, 2006. — С. 47-59.
3. Левин В.И. Интервальная логика и оптимизация в условиях неопределенности // Искусственный интеллект. – Донецьк: ППШ "Наука і освіта", 2002. – № 3. – С. 611-621.
4. Базы знаний интеллектуальных систем / Т.А. Гаврилова, В.Ф. Хорошевский. – СПб.: Питер, 2001. – 384с.
5. Егоров А.С. Логическое моделирование в условиях неопределенности на базе нечетких интервальных сетей Петри / А.С. Егоров, А.Н. Шайкин // Известия РАН. Теория и системы управления. – 2002. – № 2. – С. 134-139.
6. Pedrycz W. A generalized fuzzy Petri net model / W. Pedrycz, F. Gomide // IEEE Trans. on Fuzzy System. – 1994. – № 4. – P. 295-301.
7. Кучеренко Е.И. Интеллектуальные технологии в задачах принятия решений технологических комплексов на основе нечеткой интервальной логики / Е.И. Кучеренко, В.А. Филатов, И.С. Творошенко, Р.Н. Байдан // Восточно-Европейский журнал передовых технологий. – X., 2005. – № 2. – С. 92-96.
8. Кучеренко Е.И. Процессы принятия решений в сложных системах на основе нечетких интервальных представлений / Е.И. Кучеренко, И.С. Творошенко // Вісник Національного технічного університету "ХПІ". Тематичний випуск: Системний аналіз, управління та інформаційні технології. – X.: НТУ "ХПІ". – 2003. – Т. 1. – № 7. – С. 79-86.
9. Творошенко И.С. Структура и функции интеллектуальных средств принятия решений в сложных системах // Искусственный интеллект. – Донецьк: ППШ "Наука і освіта", 2004. – № 4. – С. 462-470.
10. Журкин И.Г. Геоинформационные системы / И.Г. Журкин, С.В. Шайтура. – М.: «КУДИЦ-ПРЕСС», 2009. – 272 с.

Поступила в редколлегию 27.11.2009

Рецензент: д-р техн. наук, проф. В.А. Филатов, Харьковский национальный университет радиоэлектроники, Харьков.

ПРИКЛАДНІ АСПЕКТИ МОДЕЛЮВАННЯ НЕЧІТКИХ ПРОЦЕСІВ У СКЛАДНИХ СИСТЕМАХ

Є.І. Кучеренко, І.С. Творошенко

Розглянуті питання підвищення ймовірності прийняття рішень в задачах аналізу стану об'єкта дослідження в умовах невизначеності з використанням інтелектуальних технологій та методів моделювання процесів на основі нечіткої інтервальної логіки та розвитку нечітких інтервальних мереж Петрі.

Ключові слова: нечіткі мережеві моделі, нечітка інтервальна логіка, нечіткі інтервальні вирази, коефіцієнт впевненості.

APPLIED ASPECTS OF FUZZY PROCESSES MODELING IN COMPLEX SYSTEMS

Ye.I. Kucherenko, I.S. Tvoroshenko

The issues of decision making reliability increasing in the problems of research object state analysis in condition of uncertainty using intelligent technologies and methods of processes modeling on the basis of fuzzy interval logic and fuzzy interval Petri nets are considered.

Keywords: fuzzy set model, fuzzy interval logic, fuzzy interval statements, coefficient of assurance.