

УДК 519.71

Е.И. Кучеренко¹, А.В. Корниловский¹, И.С. Глушенкова²¹Харьковский национальный университет радиоэлектроники, Харьков²Харьковская национальная академия городского хозяйства, Харьков

О МОДИФИКАЦИИ МЕТОДОВ ОПЕРАТИВНОЙ НАСТРОЙКИ ФУНКЦИЙ ПРИНАДЛЕЖНОСТИ В ЗНАНИЕОРИЕНТИРОВАННЫХ МОДЕЛЯХ

Рассмотрены вопросы модификации метода дихотомии в задачах настройки параметров функций принадлежности на основе многозначной логики. Предложена модификация программного обеспечения, сформулированы рекомендации по оперативной настройке функций принадлежности в знаниеориентированных моделях.

Ключевые слова: фаззи системы, модели, метод дихотомии, UML-диаграммы, модификация методов и моделей.

Введение

В процессе работы с нечеткими функциями принадлежности, являющимися результатом фаззификации лингвистических переменных и их значений некоторыми правилами продукции *if / then* [1], возникает необходимость дифференцирования функций принадлежности. Это, в частности, относится к процессам оптимизационной настройки параметров функции принадлежности.

Обычно функция принадлежности в виде треугольника задается следующей аналитической формулой:

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

В случае использования таких функций возникают проблемы их дифференцирования в области нахождения экстремумов. Кроме того, применение метода дихотомии не всегда позволяет минимизировать вычислительные ресурсы.

Эту проблему позволяет в значительной мере решить использование в качестве функций принадлежности гауссианов и подходов на основе нечеткой логики. Значение некоторых лингвистических переменных в области термов «малое», «большое», «среднее» может быть представлено аналитически формами [2–4]:

$$\mu(x) = e^{-k_1 x^2}, k_1 \geq 0; \quad (2)$$

$$\mu(x) = 1 - e^{-k_2 x^2}, k_2 \geq 0; \quad (3)$$

$$\mu(x) = e^{-k_3 (x-a)^2}, k_3 \geq 0. \quad (4)$$

Известно, что такие функции являются дифференцируемыми на всей области определения, что по-

зволяет избежать указанных выше недостатков. По этой причине целесообразно использовать их в качестве базисных при разработке методов и алгоритмов подбора параметров по заданным критериям.

В качестве оптимизационных алгоритмов при решении задачи нахождения экстремумов функций принадлежности часто используют градиентные методы, а также эволюционные алгоритмы. Недостатком этих алгоритмов является вычислительная ресурсоёмкость, а также затрудненность поиска глобального экстремума при наличии функций с множеством локальных экстремумов.

Под многозначной логикой [5] будем понимать тип формальной логики, характерный наличием более чем двух возможных истинностных значений (*false*, *true*). Первую систему многозначной логики предложил польский математик Ян Лукасевич в 1920 году. В настоящее время существует очень много других систем многозначной логики, которые в свою очередь могут быть сгруппированы по классам. Важнейшими из таких классов являются частичные логики и нечёткие логики.

Эти модели отражают две основные черты последней – множественность значений истинности высказываний и возможность построения новых, более сложных высказываний из заданных при помощи логических операций, которые позволяют также по значениям истинности исходных высказываний устанавливать значение истинности сложного высказывания. Примерами многозначных высказываний являются суждения с модальным исходом («да», «нет», «может быть») и суждения вероятностного характера, а примерами логических операций – логической связки типа «и», «или», «если ..., то ...». В общем случае модели многозначной логики представляют собой обобщения алгебры логики. Важно отметить, что в алгебре логики высказывания принимают только два значения истинности («да», «нет»), в связи с чем она в общем случае

не может отразить всего многообразия логических построений, встречающихся на практике.

Построение моделей многозначной логики осуществляется по аналогии с построением двузначной логики. Так, индивидуальные высказывания логики, разбитые на классы с одним и тем же значением истинности, приводят к понятию множества E-констант модели, которые фактически отождествляют все индивидуальные высказывания, заменяя их соответствующими значениями истинности; переменные высказывания – к переменным величинам x_1, x_2, \dots , которые в качестве значений принимают элементы из множества E; логической связки – к множеству M элементарных функций (операций), которые, как и их аргументы, принимают значения из E. Сложные высказывания, построенные из индивидуальных и переменных высказываний, а также логических связей, приводят к множеству $\langle M \rangle$ формул над M. Значение истинности из E сложного высказывания является функцией от соответствующих значений истинности высказываний, входящих в данное сложное высказывание. В модели эта функция приписывается формуле, соответствующей данному сложному высказыванию; говорят также, что формула реализует эту функцию. Множество формул $\langle M \rangle$ приводит к множеству [M] функций, реализуемых формулами из $\langle M \rangle$ и называемых суперпозициями над M. Множество [M] называется замыканием множества M. Задание конкретной модели многозначной логики считается эквивалентным указанию множеств E, M, $\langle M \rangle$ и [M]; при этом говорят, что модель порождается множеством M. Эта модель называется формульной моделью, а также m-значной логикой, где m обозначает мощность множества E.

Постановка задачи. В работе [2] предложен подход, ориентированный на использование метода дихотомии (половинного деления) [6] с целью достижения некоторой заданной точности ε при исследовании параметра k функций принадлежности (2) – (4) для достижения априорно известной экспертной оценки дефазтифицированного значения нечеткой величины. Не смотря на то, что метод и, соответственно, алгоритм является сходимым [6], временные показатели его быстродействия могут быть улучшены посредством введения возможности оптимизации параметра самого алгоритма путем применения принципов нечеткой логики и ранжирования.

Тогда, критерием останова итеративной работы алгоритма является выражение:

$$|U_{\text{фактическое}} - U_{\text{ожидаемое}}| \leq \varepsilon, \quad (5)$$

где $U_{\text{фактическое}}$ – фактически дефазтифицированное значение нечеткой величины, а $U_{\text{ожидаемое}}$ – экспертная оценка ожидаемого дефазтифицирован-

ного значения.

В ранее предложенном методе [2] настройка параметра k производилась посредством прибавления к текущему его значению

$$\Delta y/2 = (y_{\text{фактическое}} - y_{\text{ожидаемое}})/2$$

с последующим вычислением аналитических форм (2) – (4). Таким образом, оценка времени работы алгоритма τ , выражаемая в количестве операций алгоритма, имела константную обратно пропорциональную зависимость от выбираемой точности аппроксимации.

В данной работе необходимо:

– предложить подходы к повышению скорости обработки данных путем модификации существующих методов и подходов;

– обеспечить сходимость алгоритма посредством настройки шага дихотомии и обеспечить нахождение оптимальных параметров шага для каждого вида нечетких функций путем ранжирования параметров на множестве критериев:

$$\tau_p \xrightarrow{F} \min, \quad (6)$$

где τ_p – время решения задачи; F – множество ограничений предметной области.

Разработка метода

Процедуры нечеткого логического вывода в знаниеориентированных моделях предусматривает решение последующей задачи:

Пусть задано некоторое подмножество правил продукции вида [1]:

$$\text{if } x \text{ is } \mu_i(x) \text{ then } y \text{ is } \mu_j(y). \quad (7)$$

При некотором заданном значении x' решение правила (7) может быть представлено в виде [4]:

$$\begin{aligned} \text{if } x \text{ is } \mu_i(x) \text{ then } y \text{ is } \mu_j(y) \\ x = x' \end{aligned} \quad (8)$$

$$y' - ?$$

и решение (8) может быть реализовано в виде решения на основе оператора Заде-Мамдани:

$$\mu'(y) = \vee \mu'(x) \wedge \mu(x, y) \quad (9)$$

с последующей дефазтификацией [4], например, в виде нахождения четкого значения y_0 по правилу центра масс [4]:

$$y_0 = \frac{\sum y_{0i} S_i}{\sum S_i}, \quad (10)$$

где y_{0i} – центр масс некоторой элементарной области, S_i – площадь некоторой элементарной области.

Согласно метода дихотомии [2],

$$U_{\text{фактическое}} \neq U_{\text{ожидаемое}} \quad (11)$$

и необходима подстройка параметров функции при-

надлежности (2) – (4), что требует дополнительных исследований.

В качестве решения поставленной задачи (6) – (11) был предложен вариант использования некоторого интервала значений для выбора знаменателя дихотомии. Таким образом, введены два параметра алгоритма:

d_2 – верхняя границы интервала выбора множителя (нижняя граница всегда равна 0 и является открытым концом интервала),

Δd – шаг дискретизации интервала.

Тогда дискретный набор значений может быть представлен в виде:

$$D = \{\Delta d, 2 \cdot \Delta d, 3 \cdot \Delta d, \dots, d_2\}.$$

Текущее значение множителя – $m (m \in D)$. Таким образом, при подборе основного параметра нечеткой функции k , он будет изменяться на значение $\Delta y/m$.

Тогда, если определена функция нахождения операционной мощности алгоритма [7] от заданного значения m :

$$f(m), \tag{12}$$

то справедливо для (11) выражение:

$$f(\Delta d) \neq f(2 \cdot \Delta d) \neq f(3 \cdot \Delta d) \neq \dots \neq f(d_2). \tag{13}$$

Данное положение (13) предполагает проведение для каждого из n типов нечетких функций процесса дихотомической аппроксимации параметра и выбора такого значения m_i , при котором количеством операций является минимальным

$$f(m_i) = \min(f(m)). \tag{14}$$

Это позволит (14) при однократном осуществлении процесса оптимизации коэффициента дихотомии выбрать оптимальный его вариант по временному критерию и далее использовать именно выбранное значение m_i в рамках исследуемой задачи.

Этапами метода решения представленной задачи могут быть:

- Фаззификация правила-продукции, выбор типов функции принадлежности.
- Используя экспертные оценки, формулировка параметров функций принадлежности.
- Решение задачи нечеткого логического вывода.
- Дефаззификация нечеткого логического вывода.
- Определение оценки ожидаемого дефаззифицированного значения $y_{\text{ожидаемое}}$.
- Задание параметров $d_2, \Delta d, \varepsilon$.
- Запуск процесса итерационной аппроксимации.
- Остановка процесса при достижении необходимой точности ε .
- Определение оптимальных значений множителя дихотомии m для различных типов функций

принадлежности.

– Выдача рекомендаций по оптимальному значению множителя для конкретного типа нечеткой величины функции принадлежности с использованием критерия ранжирования.

– Повторный прогон, уточнение параметров дихотомии.

– Уточнение параметра k . Останов.

Такая модификация не влечёт за собой изменения прежних свойств алгоритма, за исключением введения двух параметров (верхняя граница интервала дискретизации знаменателя дихотомии d_2 , шаг дискретизации Δd), но позволяет ускорить сходимость при необходимости многократного подбора параметра k в рамках некоторой предметной области правил.

Структура программных средств решения поставленной задачи

Программной реализацией подхода является модификация ранее предложенного метода и программного продукта [2]. UML-диаграмма классов предложена на рис. 1.

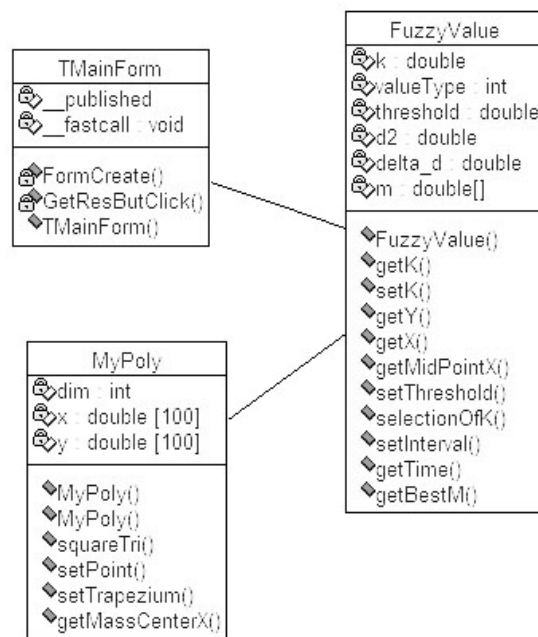


Рис. 1. UML-диаграмма классов

В данной структуре классов программной среды C++ [9] были дополнительно введены изменения класса FuzzyValue: добавлен метод unsigned int getTime(), который реализует определение времени работы алгоритма для текущего значения знаменателя дихотомии; метод setInterval(double d2, double delta_d) – реализует установку соответствующих полей класса, задания интервала дискретных значений массива double[] m; метод double getBestM() – возвращает такое значение m , при котором время

выполнения алгоритма минимально.

Также добавлены соответствующие поля члены класса для хранения границ интервала, шага дискретизации и массива действительных значений множителя дихотомии m .

Практическая реализация

В результате проведённых модификаций программный продукт позволяет пользователю ввести дополнительные параметры алгоритма: d_2 , Δd , что расширяет его функциональные возможности. После выбора термов нечеткой величины [8], задания начального значения k , а также экспертной оценки дефазифицированного значения $U_{\text{ожидаемое}}$, производится аппроксимация функции для достижения необходимой точности. В результате вычислений выводятся значения функции $f(m)$ для всех значений m из интервала $(0; d_2]$. Также пользователю выдаётся оперативная информация о выборе оптимального значения m в данной задаче для достижения максимального быстродействия работы алгоритма и возможности установки этого значения как значения для последующей работы. Использование предложенных подходов в пространственно распределённых объектах кадастровой оценки земельных участков подтвердили эффективность применённых решений.

Выводы

1. В работе усовершенствован метод настройки параметров функций принадлежности в знаниеориентированных моделях на основе применения многозначной логики.

2. Предложены подходы к выбору многозначной логики для рассмотренных функций принадлежности с использованием критериев ранжирования.

3. В результате проведённой модификации была улучшена скорость сходимости предложенного ранее алгоритма подбора параметров нечетких функций принадлежности посредством введения операции оптимизации временной сложности при изменении коэффициента деления бинарного поиска.

Модифицированы классы программной реализации модели с целью внедрения нового функционала алгоритма в программу.

4. Предложена структура классов модифицированных программных средств решения прикладных задач на пространственно распределённых объектах кадастровых систем. Подтверждена эффективность подхода.

5. Разработка и дальнейшее совершенствование методов оперативной настройки параметров нечетких систем является перспективным направлением в области фаззи технологий и систем предметных областей.

Список литературы

1. Заде Л. Понятие лингвистической переменной и его применение к принятию приближенных решений / Л. Заде. – М.: Мир, 1976. – 166 с.
2. Кучеренко Е.И. О методах настройки функций принадлежности / Е.И. Кучеренко, А.В. Корниловский, И.С. Творошенко // Системи навігації, управління і зв'язку. – К.: ДП «ЦНДІ НУ», 2010. – Вып. 1 (13). – С. 95-99.
3. Яхьяева Г.Э. Нечеткие множества и нейронные сети / Г.Э. Яхьяева. – М.: БИНОМ. Лаборатория знаний, 2008. – 316 с.
4. Tsoukalas L.H. Fuzzy and Neural Approaches in Engineering / L.H. Tsoukalas, R.E. Uhrig. – New York: John Wiley&Sons, Inc, 1997. – 587 p.
5. Многозначная логика [Электронный ресурс]. – Режим доступа к ресурсу: <http://bse.scilib.com/article077262.html>.
6. Свободная энциклопедия [Электронный ресурс]. – Режим доступа к ресурсу: <http://ru.wikipedia.org/>.
7. Корн Г. Справочник по математике для научных работников и инженеров / Г. Корн, Т. Корн. – М.: Наука, 1970. – С. 575-576.
8. Бодянский Е.В. Нейро-фаззи сети Петри в задачах моделирования сложных систем: монография / Е.В. Бодянский, Е.И. Кучеренко, А.И. Михалев. – Днепропетровск: Системні технології, 2005. – 311 с.
9. Шилдт Г. Полный справочник по C++ / Г. Шилдт. – М.: Изд. дом «Вильямс», 2004. – 800 с.

Поступила в редколлегию 19.04.2010

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

ПРО МОДИФІКАЦІЮ МЕТОДІВ ОПЕРАТИВНОГО НАСТРОЮВАННЯ ФУНКЦІЙ НАЛЕЖНОСТІ В ЗНАННЯ ОРІЄНТОВАНИХ МОДЕЛЯХ

Є.І. Кучеренко, А.В. Корніловський, І.С. Глушенкова

Розглянуті питання модифікації методу дихотомії в завданнях настройки параметрів функцій належності на основі багатозначної логіки. Запропонована модифікація програмного забезпечення, сформульовані рекомендації по оперативній настройці функцій належності в знання орієнтованих моделях.

Ключові слова: фаззі системи, моделі, метод дихотомії, UML-діаграми, модифікація методів і моделей.

MODIFICATION OF METHODS FOR OPERATIVE ADJUSTMENT OF MEMBERSHIP FUNCTIONS IN THE KNOWLEDGE THE ORIENTED MODELS

Ye.I. Kucherenko, A.V. Kornilovski, I.S. Glushenkova

The questions of modification of method of dichotomy are considered in the tasks of adjusting the parameters of functions of belonging on the basis of the multiple-valued logic. Modification of software is offered, formulated recommendation on the operative tuning of functions of belonging in knowledge the oriented models.

Keywords: phasi systems, models, method of dichotomy, UML-diagrams, modification of methods and models.