

УДК 004: 942

Є.І. Кучеренко<sup>1</sup>, І.С. Глушенкова<sup>2</sup>, С.О. Глушенков<sup>2</sup><sup>1</sup> Харківський національний університет радіоелектроніки, Харків<sup>2</sup> Харківський національний університет міського господарства ім. О.М. Бекетова, Харків

## ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ АНАЛИЗА ПРОСТРАНСТВЕННО РАСПРЕДЕЛЕННЫХ ОБЪЕКТОВ

Предложено и реализовано развитие метода настройки параметров функций принадлежности нечетких баз знаний, основанного на классах функций принадлежности, что позволяет существенно уменьшить время настройки параметров в знание ориентированных технологиях. Проведены экспериментальные исследования, подтверждающие близкую к квадратичной зависимость вычислительной сложности, а также эффективность данного подхода для трёх базовых видов функций принадлежности на множестве термов лингвистических переменных.

**Ключевые слова:** модель процессов, нечеткие логические функции, метод, информационные технологии..

### Введение

Управление территориями крупных городов состоит в управлении сложной системой, состоящей из объектов городского хозяйства, процессов их функционирования и взаимодействия. Среди особенностей объектов управления можно выделить такие: зависимость параметров составных частей объекта от их пространственного расположения, изменчивость этих параметров во времени [1] и высокая степень неопределенности взаимного влияния на их состояние. Для решения задач принятия решений для управления территориями в мире используют географические информационные системы (ГИС), которые позволяют анализировать состояние объектов в условиях неопределенности, характеризующихся наличием пространственной компоненты и большого количества данных, многие из которых носят нечеткий характер. Однако большей эффективности можно достичь в результате интеграции геоинформационных и знание ориентированных технологий [2]. **Постановка задачи исследования.** Одним из методов интеллектуального анализа данных является нечеткая логика.

### Модификация метода настройки параметров функций принадлежности

Известно, что множество функций принадлежности  $\{\mu_i\}$ ,  $i \in I$  [3] является конечным в рамках некоторого класса решаемых задач:  $\{\mu_i\} = \text{const}$ ,  $\{\mu_i\} < \infty$ . Для каждой операции  $a_i$  настройки параметра  $k$ , функция принадлежности  $\{\mu_i\}$ ,  $i \in I$  четко определена и может быть представлена в виде  $\mu_{\tilde{A}_i} = f(x, k, a, b)$ , где  $x, k, a, b$  – некоторые переменные.

Научные результаты изложенного метода раскрыты в работе авторов [4]. В изложенном методе

[4] развитие дихотомии соответствует итеративному процессу:

$$k_i = k_{i-1} \pm \varepsilon/2, \quad (1)$$

где  $k_i$  –  $i$  шаг операции,  $k_{i-1}$  –  $i-1$  шаг операции,  $\varepsilon$  – норма ошибки.

Процесс продолжается до тех пор, пока не реализован критерий точности аппроксимации  $\Delta y$ :

$$\Delta y = |y_{\text{ф}} - y_{\text{ож}}| \leq \varepsilon, \quad (2)$$

где  $y_{\text{ф}}$  – фактическое значение дефазсифицированной величины.

В [5] предлагается использовать текущее значение делителя как минимальное и ввести ряд дополнительных целочисленных значений делителя [1]:

$$d \in \{d_1, d_2, \dots, d_{n-1}, 2\}, \quad (3)$$

где  $d_1, d_2, \dots, d_n, d_i > 2, 1 \in L$ . (4)

Такой вариант выбора делителя позволит в ряде случаев осуществить более быстрое достижение заданной точности аппроксимации  $\varepsilon$ . Для каждого типа функции принадлежности и каждого делителя  $d_i$  можно измерить время работы предлагаемого алгоритма  $\tau_i$ , где  $\tau_i$  – модельное время. Критерием решения задачи (останова) будет из  $\{\tau_k\}$ ,  $i \in K$  как нахождение

$$\forall \tau_k, \tau_k \in \{\tau_k\} \xrightarrow{F^*} \text{extr}, \quad (5)$$

где  $F^*$  – ограничения предметной области. На множестве  $\{\mu_i\}$  осуществляется ранжирование  $\tau_k$  по критерию минимизации модельного времени. Для соответствующих значений из  $\{\tau_{k_{\min}}\}$  определяется их делитель  $d_{\min_i}$  для  $\mu_i$ :

$$k_i = k_{i-1} \pm \varepsilon/d_{\min}. \quad (6)$$

Для множества решений (5), (6) представляет важный интерес алгоритмизация выбора критерия предпочтения порядка выбора последовательности шагов на множестве принятия решений. В работе,

как версия возможных решений, предлагается использование знание ориентированных подходов к рациональному выбору порядка (6). Пусть заданы некоторые нечеткие правила продукции [6] об определении порядка элементов выбора из (6) в изложенной стратегии выполнения алгоритма в виде

$$(if\ x\ is\ \mu(x)\ then\ y\ is\ \mu(y))_{\alpha}, \quad \alpha \in A. \quad (7)$$

Используя подходы, на множестве функций принадлежности:

- большого

$$\mu^{(б)} = 1 - e^{-k_1(x-a)^2}, \quad k_1 > 0, \quad x \geq a, \quad (8)$$

- малого

$$\mu^{(м)} = e^{-k_2x^2}, \quad k_2 > 0, \quad (9)$$

- среднего

$$\mu^{(ср)} = e^{-k_3(x-b)^2}, \quad k_3 > 0,$$

их производные реализуются в виде [7]

$$y' = \vee x' \vee \mu(x, y), \quad (10)$$

где  $\mu(x, y)$  – некоторый нечеткий оператор из множества [6].

**Утверждение 1.** Если есть решение (7) на множестве (9) в виде (10), то, при наличии условий непротиворечивости [6], дефаззификация (10) определяет достаточные условия последовательности выбора решений на основе нечеткой интервальной логики.

Справедливость утверждения 1 очевидна, если учесть адекватность модели (7) и их входные условия в смысле [8] в задачах непротиворечивости выражения (7). Таким образом, можно выделить для нахождения (6) ряд этапов модифицированного метода при настройке параметров функций принадлежности путем ввода процедур типа:

- выбор и решение процедур в виде (7) – (10);
- решение задачи нечеткого логического вывода;
- дефаззификация нечеткого логического вывода.

Тогда стратегия предлагаемого метода может быть изложена в виде:

- фаззификация правила продукции, выбор типов функции принадлежности;
- используя экспертные оценки, задание параметров функций принадлежности;
- выбор и решение процедур в виде (7) – (10);
- решение задачи нечеткого логического вывода;
- дефаззификация нечеткого логического вывода;
- определение оценки ожидаемого дефаззифицированного значения –  $U_{ож}$  ;
- задание делителя дихотомии  $d$  и требуемой точности вычисления  $\varepsilon$  ;
- запуск процесса итеративной аппроксимации;
- остановка при достижении необходимой точности  $\varepsilon$  ;
- повторный прогон изложенных выше процедур, модификация параметров функций принадлежности;
- при необходимости, выбор и решение процедур в виде (7) – (10);
- останов.

Оценка времени проведения операции настройки  $\tau_k$  определена не более  $10^3$ с.

Решение данной модифицированной задачи посредством использования методов многозначной интервальной логики [9] позволяет определять минимальное значение модельного времени  $\tau$  [10]. Решение не всегда является алгоритмически оптимальным. Это связано с тем, что в ряде случаев не всегда, по крайней мере, в практических приложениях, возможно достичь минимальных значений модельного времени по причине использования в этом подходе значения  $\Delta u$  в качестве числителя шага аппроксимации [6], что не всегда адекватно предметной области.

Знаменатель шага определяется как  $A \in (0,1), A \in R$ . В предлагаемом подходе в роли делимого выступает значение априорно заданной точности вычислений  $\varepsilon$ , что позволяет выполнить условие для модельного времени  $\tau_k$  :

$$\tau_{\Delta u, A} < \tau_{\varepsilon, d}, \quad (11)$$

где  $\tau_{\Delta u, A}$  – модельное в (11) время при использовании числителя шага  $\Delta u$  и знаменателя  $A$ ;  $\tau_{\varepsilon, d}$  –  $\varepsilon$  и  $d$ , соответственно.

В процессе работы приложения в задачах анализа объектов геоинформационных систем были получены фактические значения вычислительной сложности работы алгоритма для трёх типов функций принадлежности, верхняя оценка которой близка к значениям  $O(n^2)$  и зависит от конфигурации компьютера. В результате эксперимента подтверждена адекватность гипотезы (рис. 1), где по горизонтальной оси представлена заданная точность вычислений  $\varepsilon$ , а по вертикальной – модельное время  $\tau$ , мс.

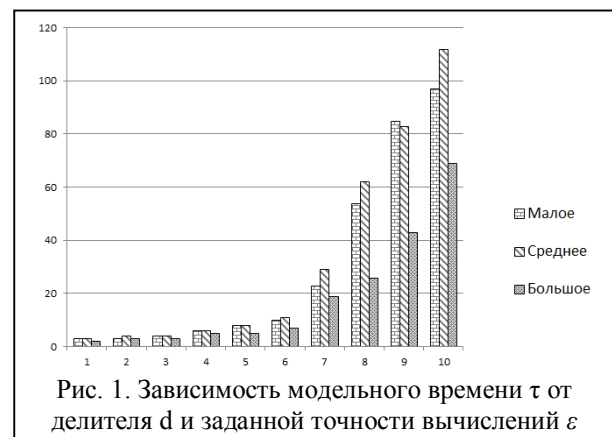


Рис. 1. Зависимость модельного времени  $\tau$  от делителя  $d$  и заданной точности вычислений  $\varepsilon$

### Развитие метода обработки растровых представлений модели

Рассмотрим стратегию настройки функций принадлежности при обработке растрового представления модели с использованием функции принадлежности вида  $\mu(x) = e^{-f_1(x-f_2)^2}$ , где  $f_1$  – задаваемое значение крутизны функции;  $f_2$  – величина

смещения. Отклонение результата работы инструмента «гауссиан» от заданного значения составляет

$$\frac{\Delta h}{2} = h_{\max} - h_{\min} \quad \text{или} \quad \Delta h = |h_{\max} - f_2|,$$

где  $\Delta h$  – отклонение полученного значения от исходного;  $h_{\max}$  и  $h_{\min}$  – соответственно максимальное и минимальное значения в выборке. Точность определения величины  $\Delta h$  определяется предметной областью и зависит от условий задачи.

В работе [10] был предложен комплекс базовых операций построения нечетких логических функций в знание ориентированных ГИС, который может служить основой для разработки технологии настройки функции принадлежности с целью минимизации  $\Delta h$ , причем экспериментально установлено, что

$$\Delta h = f(f_1, \mu(x), f_2 = \text{const}).$$

Этапы метода обработки растровых представлений модели: задается максимальное значение предельного отклонения  $\Delta$  для  $f(\mu)$ ; для значения  $\Delta$  определяется  $f_1$ ; используя базу знаний (БЗ), правила продукции и многозначную логику определяется  $\Delta = f(k)$ ; подставляется  $f_1$  в модель и проверяется результат.

## Выводы

1. Предложено и реализовано развитие метода настройки параметров функций принадлежности нечетких баз знаний, который, в отличие от существующих подходов, основывается на термах лингвистических переменных многозначной интервальной логики, классах функций принадлежности, что позволяет существенно уменьшить время настройки параметров в знание ориентированных технологиях.

2. Усовершенствован метод настройки параметров функций принадлежности, который в отличие от существующих, основан на предварительном задании точности вычислений, что позволяет выполнить условие для значения модельного времени и уменьшить вычислительную сложность  $n$ -разрядной интервальной настройки функций принадлежности.

3. Проведены экспериментальные исследования, подтверждающие близкую к квадратичной зависимость вычислительной сложности, а также эффективность данного подхода для трёх базовых видов функций принадлежности на множестве термов лингвистических переменных.

## Список литературы

1. Фридман А.Я. Ситуационные СППР муниципального управления [Электронный ресурс] / А.Я. Фридман, А.Г. Олейник, П.И. Матвеев. – Режим доступа: <http://it-claim.ru/Library/Books/SC/articles2/Fridman.htm>.
2. Raines G.L. New fuzzy logic tools in ArcGIS 10 / G.L. Raines, D.L. Sawatzky, G.F. Bonham-Carter // *ArcUser*. – Spring 2010. – Vol. 14. No. 2. – P. 8–13.
3. Кучеренко Е.И. Развитие методов на основе многозначной интервальной логики в задачах настройки функций принадлежности / Е.И. Кучеренко, А.В. Корниловский, И.С. Глушенкова // *Бионика интеллекта*. – 2011. – № 1 (75). – С. 75–78.
4. Кучеренко Е.И. О модификации методов оперативной настройки функций принадлежности в знаниеориентированных моделях / Е.И. Кучеренко, А.В. Корниловский, И.С. Глушенкова // *Системы обработки информации*. – 2010. – № 5 (86). – С. 54–57.
5. Кучеренко Є.І. Теоретичні основи та технології оцінки технічного стану просторово розподілених об'єктів : моногр. / Є.І. Кучеренко, Д.Є. Краснокутський, І. С. Глушенкова. – Х. : ХНАМГ, ХНУРЕ, 2011. – 167 с.
6. Нейро-фаззи модели и мультиагентные технологии в сложных системах / Е.В. Бодянский, В.Е. Кучеренко, и др. – Дн-ськ : Системні технології, 2008. – 412 с.
7. Tsoukalas L.H. Fuzzy and Neural Approaches in Engineering / L. H. Tsoukalas, R. E. Uhrig. – New York : John Wiley&Sons, Inc, 1997. – 587 p.
8. Миркин Б.Г. Проблема группового выбора / Б.Г. Миркин. – М. : Наука, 1974. – 256 с.
9. Многозначная логика [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://bse.sci-lib.com/article077262.html>
10. Кучеренко Е.И. Метод принятия решений с использованием нечеткой логики в технологиях ArcGIS / Е.И. Кучеренко, И.С. Глушенкова, С.А. Глушенков // *Система обробки інформації*. – Х. : ХВПС., 2013. – № 2. – С. 55-59.

Поступила в редколлегию 22.09.2015

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

## ІНТЕЛЕКТУАЛЬНІ ТЕХНОЛОГІЇ АНАЛІЗУ ПРОСТОРОВО РОЗПОДІЛЕНИХ ОБ'ЄКТІВ

Е.И. Кучеренко, И.С. Глушенкова, С.А. Глушенков

*Запропоновано і реалізовано розвиток методу налаштування параметрів функцій належності нечітких баз знань, який базується на класах функцій належності, що дозволяє істотно зменшити час налаштування параметрів в знання орієнтованих технологіях. Проведено експериментальні дослідження, що підтверджують близьку до квадратичної залежність обчислювальної складності, а також ефективність даного підходу для трьох базових видів функцій належності на множині термів лінгвістичних змінних.*

**Ключові слова:** модель процесів, нечіткі логічні функції, метод, геоінформаційні технології.

## INTELLIGENT TECHNOLOGYS FOR THE ANALYSIS OF SPATIALLY DISTRIBUTED OBJECTS

E.I. Kucherenko, I.S. Hlushenkova, S.O. Hlushenkov

*In paper proposed and implemented a development of the method of setting the parameters of the membership functions of fuzzy knowledge bases, based on classes of membership functions. This can significantly reduce the time settings in the knowledge oriented technologies. Experimental studies confirming close to a quadratic dependence of the computational complexity and the effectiveness of this approach for three basic types of membership functions on the set of terms of linguistic variables.*

**Keywords:** process model, fuzzy logic functions, method, GIS technology.