

УДК 004.93'12

**КОМПЬЮТЕРНАЯ РЕАЛИЗАЦИЯ ПРОЦЕДУР ФОРМИРОВАНИЯ ЗНАНИЙ  
ДЛЯ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СИСТЕМЫ ВЫБОРА СЛОЖНЫХ ОБЪЕКТОВ**<sup>1</sup>Эдгулова Е.К., <sup>2</sup>Хамуков Ю.Х., <sup>1</sup>Шауцукова Л.З., <sup>3</sup>Лежебоков А.А., <sup>2</sup>Анчекоев М.И.<sup>1</sup>ФГБОУ ВО «Кабардино-Балкарский государственный университет им. Х.М. Бербекова»,  
Нальчик, e-mail: bsk@kbsu.ru;<sup>2</sup>ФГБУН «Институт информатики и проблем регионального управления Кабардино-Балкарского  
научного центра РАН», Нальчик, e-mail: iipru@rambler.ru;<sup>3</sup>ФГАОУ ВО «Южный федеральный университет», Таганрог, e-mail: elegebokov@gmail.com

В настоящей работе предложен способ описания признаков сложных объектов, основанный на использовании лингвистических переменных в интеллектуальных системах поддержки принятия решений. Построена процедура генерации расширенного терм-множества лингвистических переменных, посредством которой происходит формирование описаний декларативных знаний. Предложена структура базы знаний при нечетком лингвистическом описании признаков, содержащая как декларативные, так и процедурные знания. Реализована концепция решения задачи оценки и выбора сложных объектов со взаимосвязанными параметрами, основанная на анализе структуры объектов при их нечетком описании. Процедуры формирования знаний для интеллектуальной системы выбора сложных объектов реализованы на языке С# в виде связанной динамической списковой структуры. Указаны возможные способы использования базы знаний при создании систем распознавания сложных объектов.

**Ключевые слова:** экспертная оценка, нечеткое множество, функция принадлежности, нечеткая переменная, лингвистическая переменная, расширенное терм-множество, база знаний, интеллектуальная система, робототехническая система

**COMPUTER IMPLEMENTATION OF KNOWLEDGE FORMATION PROCEDURES  
FOR AN INTELLECTUAL SYSTEM OF SELECTION OF COMPLEX OBJECTS**<sup>1</sup>Edgulova E.K., <sup>2</sup>Khamukov Yu.Kh., <sup>1</sup>Shautsukova L.Z., <sup>3</sup>Lezhebokov A.A., <sup>2</sup>Anchekov M.I.<sup>1</sup>Kabardino-Balkarian State University n.a. H.M. Berbekov, Nalchik, e-mail: bsk@kbsu.ru;<sup>2</sup>Institute of Computer Science and Problems of Regional Management of KBSC of the Russian Academy  
of Sciences, Nalchik, e-mail: iipru@rambler.ru;<sup>3</sup>Southern Federal University, Taganrog, e-mail: elegebokov@gmail.com

This work presents a method of describing complex objects which is based on using linguistic variables in intellectual systems supporting decision making. We reviewed the procedure of building an extended term-multitude of linguistic variables through which descriptions of declarative knowledge are formed. We introduce a structure of base knowledge given fuzzy linguistic description of features, which contains both declarative and non-declarative knowledge. We propose a framework of solving the problem of assessment and selection of complex objects with interrelated parameters, based on analysis of object structure given their fuzzy description. We suggest implementation of procedures for creating knowledge for intellectual systems of selecting complex objects as a related dynamic listing structure. We promote a possible methods of realization of the knowledge base during formation of complex objects recognition systems.

**Keywords:** expert assessment, fuzzy set, accessories function, fuzzy variable, linguistic variable, extended term set, knowledge base, intelligent system, robotic system

Рассматриваемая в настоящей работе интеллектуальная информационная система предназначена для решения задачи оценки и выбора сложных объектов – задачи, возникающей практически во всех интеллектуальных системах принятия решений и управления.

Объект характеризуется как сложный, если множество его состояний имеет большую мощность, затрудняющую его исследование или моделирование, и если для полного описания состояний объекта и законов управления им не хватает информационных ресурсов.

В зависимости от уровня описания объекта его сложность определяют как ста-

тическую – при недостатке ресурсов для описания структуры объекта, или динамическую – при нехватке ресурсов для описания динамики поведения объекта; информационную – при недостатке ресурсов для информационно-логического описания объекта; вычислительную – при недостатке ресурсов для прогнозирования состояния объекта; алгоритмическую – при недостатке ресурсов для функционального описания объекта. Сложность объекта характеризует и его поведение. При этом сложность проявляется как внутренняя – в виде многообразия внутренних состояний, влияющих на свойства объекта, и внешняя, определяемая многообразием взаимоотношений с внешней средой.

Интеллектуальные информационные системы, управляющие такими объектами, не вписываются в рамки общепринятых классификаций сложных систем: по отношению к окружающей среде они не могут быть абсолютно открытыми или закрытыми; по происхождению имеют всевозможные связи с элементами других систем и подсистем, в том числе с живыми, социальными, экологическими, производственными, биотехническими, виртуальными и тому подобно независимо функционирующими объектами; по описанию переменных – используют качественные, количественные и смешанные описания; по способу управления могут быть управляемыми извне без обратной связи, программно управляемыми, адаптивными и/или самоорганизующимися.

От современных управляющих интеллектуальных систем, помимо значительных вычислительных возможностей, требуются высокие когнитивные способности, особенно в системах, основанных на знаниях и коннекционистских моделях. Интенсивно развивающиеся технологии гибридизации нейросетевых систем и систем нечетких вычислений [3] обладают преимуществами в скорости обработки знаниевых данных, в способности к обобщению и логической дедукции. В данной работе представлены результаты компьютерной реализации процедур формирования знаний в подобной системе.

Реализованный подход учитывает разнообразные обстоятельства и свойства систем, определяемых как большие и сложные. В том числе необходимость соответствия (возможно, неполного) численных характеристик системы критериям приемлемости риска Эшби. Прогрессирующее усложнение робототехнических систем, ещё большее усложнение связей между элементами систем, не поддающиеся полной формализации характеристики человеко-машинных систем и тому подобные факторы обуславливают целесообразность применения методов нечеткого управления.

Интеллектуальная информационная система имеет два режима работы: приобретение знаний и решение задачи. В режиме приобретения знаний на основе полученной от эксперта информации по специальным процедурам генерируются правила базы знаний. Результаты решения задачи и способы их получения (именно это интересует конечного пользователя) формируются в режиме решения задач механизмом вывода.

Интеллектуальная система (ИС), в отличие от традиционных систем, решающих задачи по детерминированному алгоритму, не только предполагает присутствие поль-

зователя при решении, но и сохраняет за ним инициативу, направляет в процессе решения на правильное принятие решения и объясняет свои действия.

Для решения задачи оценки и выбора сложных объектов предложена концепция компьютерной системы, включающей в себя:

- базу данных с экспертными оценками и обучающей выборкой;
- базу знаний, содержащую различные модели представления знаний, на основе которых механизм вывода принимает решение;
- механизм вывода, решающий поставленную задачу для конечного пользователя;
- интерфейс для общения с конечным пользователем.

В качестве среды реализации системы выбрана гибкая объектно ориентированная система программирования C#, поддерживающая создание и ведение баз данных.

Исходными данными для решения задачи выбора являются экспертные оценки, представленные в числовой и словесной форме. Процедурные компоненты базы знаний формируются по алгоритмам, предложенным нами в работах [6, 7].

Ключевым моментом проектирования интеллектуальной системы является создание информационной модели проблемной области. Как показано в [6], наиболее естественным и продуктивным способом формализации параметров (признаков) ИС, оцениваемых с помощью вербальных категорий, являются нечеткие множества. В настоящей работе представление и хранение нечетких множеств  $\tilde{A}$  в процедурах формирования знаний реализовано виде динамических структур типа

```
struct Fuzzy_Sets;
Fuzzy_Sets *Param;
struct Fuzzy_Sets {
    float  $\mu$ ; /*  $\mu \in \{0, \dots, 1\}$  */
    int x;
};
```

где  $x \in X$ ,  $X = \{0, 1, \dots, 100\}$  – универсальное множество;  $\mu: X \rightarrow [0, 1]$  – функция принадлежности. Согласно Л. Заде [2], степень принадлежности  $\mu_{\tilde{A}}(x)$  является субъективной мерой того, насколько элемент  $x \in X$  соответствует понятию, смысл которого формализуется нечетким множеством  $\tilde{A}$ .

Выполненные в настоящей работе компьютерные реализации функций принадлежности и расширенного терм-множества базируются на теоретических подходах, рассмотренных в монографии [1].

**Структура базы знаний.** Любой сложный объект характеризуется множеством

параметров, связанных между собой некоторыми отношениями. Совокупность параметров и отношений между ними определяет структуру объекта, позволяющую однозначно оценивать его среди других объектов. Суть предлагаемого подхода к решению задачи оценки и выбора сложных объектов, основанного на анализе их структуры, выражается в следующем.

Пусть задано множество  $I$  сложных объектов исследуемой предметной области  $\chi$ , каждый из которых характеризуется множеством параметров  $P = \{P_i\}$ ,  $i = 1, \dots, n$  и множеством возможных отношений  $R = \{R_j\}$ ,  $j = 1, \dots, m$  между этими параметрами. Параметры  $P_i$ , заданные в словесной форме, и отношения между такими параметрами, описываются нечеткими множествами.

Будем считать, что множество параметров  $P$  представляет собой объединение пересекающихся подмножеств областей параметров  $S = \{S_z\}$ ,  $z = 1, \dots, t_z$ , содержащих параметры, имеющие близкую степень схожести по некоторому критерию (например, по степени влияния на правильность распознавания объекта – очень слабой, слабой, ..., сильной, ...).

Предположим, что множество всех объектов  $I$  предметной области  $\chi$  может быть разбито на конечное число классов  $C_q$ ,  $q = 1, \dots, k$ , каждому из которых поставлено во взаимно однозначное соответствие некоторое описание  $G_q(P^q, R^q)$ ,  $q = 1, \dots, k$ , где  $P^q \subset P$  – подмножество параметров множества  $P$ ,  $R^q \subset R$  – отношения между параметрами  $P^q$ .

В этих условиях опишем алгоритм распознавания нового объекта  $I^*$ , поступающего на вход системы распознавания.

1. Вычисляется функция близости  $\Phi^*$  объекта  $I^*$  с каждым подмножеством  $\{S_z\}$ ,  $z = 1, \dots, t_z$ , множества  $S$  областей параметров  $P$ .

2. По найденному  $\Phi^*$  определяется все множество элементов описания  $P^* \subset P$ , входящих в структуру распознаваемого объекта  $I^*$ .

3. Выделяется множество отношений  $R^* \subset R$ ,  $R = \{R^q\}$ ,  $q = 1, \dots, k$ , которыми связаны элементы множества  $P^*$  объекта  $I^*$ .

4. В результате проведенных процедур составляется описание  $G^*(P^*, R^*)$  объекта  $I^*$ .

5. Описание  $G^*(P^*, R^*)$  распознается в множестве описаний  $G_q(P^q, R^q)$ ,  $q = 1, \dots, k$ , после чего делается вывод о принадлежности объекта  $I^*$  некоторому классу  $C^* \in C$ .

Описанный выше процесс распознавания объекта  $I^*$  включает в себя в качестве отдельной задачи формирование множества  $S^*$  областей параметров, покрывающих признаковое пространство этого объекта.

Параметры  $P^q \in P^q$  ( $t = 1, \dots, k$ ,  $k_q$  – мощность множества  $P^q$ ) объектов множества  $I$  описываются кортежами вида

$$D_t^q = \langle \omega_t^q, \psi_t^q, v \rangle,$$

где  $\omega_t^q$  – вес параметра  $P_t^q$ ;  $\psi_t^q$  – значение параметра  $P_t^q$  (числовое или строковое) в подмножестве  $P^q$ ;  $v$  – вектор влияния параметра  $P_t^q$  на другие параметры множества  $P^q$ .

В связи с векторным представлением описаний параметров  $D_t^q$ ,  $t = 1, \dots, k_q$  их можно рассматривать при распознавании объектов как классы описаний. Тогда задачу формирования множества  $S^*$  можно поставить следующим образом.

Имеется некоторое множество областей параметров  $S$  и множество описаний классов  $D = \{D_t^q\}$ ,  $t = 1, \dots, k_q$ , к которым могут относиться данные объекты. Предполагается, что исходное распределение объектов по классам произведено экспертом на основе априорной информации о множестве  $S$ . Задача заключается в отнесении некоторого сложного объекта  $F$ , поступившего на вход распознающей системы, к определенному классу объектов  $P^q$ . Для этого необходимо выбрать способ  $L$  описания объекта  $F$  и произвести описание классов  $P^q$ , то есть осуществить взаимно однозначное отображение  $P^q \rightarrow L(P^q)$ . Нечеткие лингвистические описания классов  $P^q$  задаются экспертом на начальном этапе разработки системы распознавания. Каждому классу  $P^q$  ставится во взаимно однозначное соответствие его нечеткое лингвистическое описание  $L^q$ , которое представляет собой некое нечеткое утверждение (нечеткий предикат)  $\Omega^q$  переменных, то есть  $L^q = L^q(P^q)$ . Переменные  $P_t^q$ , входящие в предикат, являются нечеткими качественными признаками, а множество всех используемых при описании значений нечетких качественных признаков  $P_t^q$  образует признаковое пространство  $X$ .

Описание  $L^q(P^q)$  можно заменить совокупностью

$$\{X^q(P^q); \rho^q\}, q = 1, \dots, k,$$

где  $X^q$  представляет собой декларативную информацию о классе объектов  $P^q$ , представленную в виде вектора признаков, а  $\rho^q$  – процедурную информацию о классе в виде алгоритма, формирующего вектор признаков  $X^q$ . В отличие от векторов признаков, процедурная информация является общей для всех классов  $P^q$ , то есть глобальной для базы знаний.

Особенностями нечетких лингвистических описаний объектов (как и высказываний эксперта) являются различная длина векторов признаков различных классов

и различные способы их получения для каждого из классов. В этом случае может оказаться полезной следующая эвристическая процедура:

1) генерация  $n$  векторов описаний объектов  $G$ ;

2) согласование описаний объектов  $G$  и классов  $L$  по размеру векторов признаков и по способу их получения;

3) отнесение объекта  $F$  к соответствующему классу по критерию минимального расстояния путем попарного сравнения признаков классов и объектов.

### Заключение

В работе рассмотрена задача оценки и выбора сложных объектов в ситуации, когда параметры объектов взаимосвязаны, а объекты заданы нечеткими признаками и могут лежать на пересечении классов.

Описана компьютерная реализация информационной модели задачи в виде связанной списковой динамической структуры, предусматривающая хранение в базе знаний как декларативных, так и процедурных знаний об объектах.

Выполнена компьютерная реализация процедуры построения расширенных термножеств лингвистических переменных, предназначенная для решения проблем, возникающих при использовании аппарата нечетких множеств в задачах управления и при разработке современных технических систем с применением логико-лингвистического описания декларативного знания.

Определена структура нечеткой базы знаний, содержащей декларативные и процедурные знания. Подобные базы знаний востребованы в эргатических системах управления, основанных на принципе общности человеческого и машинного знания. Необходимость развития методов обработки лингвистических переменных обуславливается актуализацией феномена «Ambient intelligence» [5], а также тем, что числовая информация вербально кодируется человеком и хранится в мозге в виде лингвистических термов.

Полученные результаты могут быть использованы при разработке интеллектуальных систем поддержки принятия решений для автономных робототехнических систем. В частности, при создании алгоритмического и программного наполнения роботов-разведчиков для служб армии и МЧС, в задачах нечеткого управления и оценки эффективности выбора на основе нечетких запросов, при создании определителей растений для сельскохозяйственных и фитосанитарных роботов, при прогнозировании устойчивости грунтовых массивов, при создании

определителей типа и качества плодов для роботов-уборщиков плодоовощной и ягодной продукции, а также при создании роботов для замещения человека в ритейлерской деятельности, связанной с выполнением большого количества рутинных монотонных действий с высокостандартизированными по физическим характеристикам наборами объектов.

Системы распознавания для всех подобных робототехнических систем используют экспертные оценки, представленные в числовой и словесной форме. Для формализации вербальных категорий используются нечеткие множества. Полученные в работе результаты относятся к разработкам применимых систем распознавания состояния внешней среды по потоку информации от сенсоров и видеосистем робототехнических систем.

Среди актуальных робототехнических систем следует выделить унитарные или мультиагентные системы для безлюдной эвакуации пострадавших из опасной зоны к месту оказания квалифицированной помощи при проведении аварийно-спасательных работ [4]. Решение этой задачи затруднено отсутствием как научно-методического и программно-алгоритмического обеспечения разработок соответствующих робототехнических средств, так и отсутствием до последнего времени применимого технического решения задачи безлюдного отделения пострадавшего от подложки и последующей погрузки в транспортное средство. При этом необходимо обеспечить фиксацию позы пострадавшего во избежание угроз нанесения ему дополнительных повреждений или провоцирования болевых шоков. Эти две процедуры различны по составу кинематических и динамических задач, инструментарию решения и прочим характеристикам, но обе привязаны к разработке эффективного метода формализации выбора положения пострадавшего. В свою очередь, разработка подобного метода требует разработки методов моделирования позы пострадавшего и выбора положения тела при дальнейшей транспортировке.

Для формализации этих процессов могут быть использованы различные известные методы [4]: метод дерева принятия решений; метод анализа иерархий; продукционная модель представления знаний; метод нечеткого когнитивного моделирования; метод нейронных сетей; байесовский вывод, а также байесовские сети доверия. У каждого из известных методов имеются недостатки, обусловленные ограничениями применимости или чрезмерными техниче-



скими или методическими сложностями применения.

*Работа выполнена при поддержке грантов РФФИ №№ 15-01-05844, 15-07-08309.*

#### Список литературы

1. Борисов А.Н. Обработка нечеткой информации в системах принятия решений [Текст] / А.Н. Борисов, А.В. Алексеев, Г.В. Меркурьева. – М.: Радио и связь, 1989. – 304 с.
2. Заде Л. Понятие лингвистической переменной и его применение к принятию приближенных решений [Текст] / Л. Заде. – М.: Мир, 1976. – 166 с.
3. Колесников А.В. Методология и технология решения сложных задач методами функциональных гибридных интеллектуальных систем [Текст] / А.В. Колесников, И.А. Кириков. – М.: ИПИ РАН, 2007. – 387 с.
4. Мотиенко А.И., Makeev С.М., Басов О.О. Анализ и моделирование процесса выбора положения для транспортировки пострадавшего на основе байесовских сетей доверия [Текст] // Труды СПИИРАН. – 2015. – № 6(43). – С. 135–155.
5. Хамуков Ю.Х. Феномены гетерофазного мира. Парадоксы «проблемы безопасности» [Текст]: // Известия Кабардино-Балкарского научного центра РАН. – 2011. – № 1. – С. 257–260.
6. Эдгулова Е.К., Хамуков Ю.Х., Шауцукова Л.З. Математическая модель решения задачи ранжирования гетерофазных систем в условиях неопределенности состояния среды с обволакивающим интеллектом [Текст] // Известия КБНЦ РАН. – 2015. – Т. 2, № 6 (68). – С. 220–226.

7. Эдгулова Е.К. Математическая модель задачи оценки и ранжирования экологической системы в условиях неполноты информации [Текст] // Известия КБГАУ. – 2013, № 2(2). – С. 143–145.

#### References

1. Borisov A.N. Obrabotka nechetkoj informacii v sistemah prinjatija reshenij [Tekst] / A.N. Borisov, A.V. Alekseev, G.V. Merkureva. M.: Radio i svjaz, 1989. 304 p.
2. Zade L. Ponjatie lingvisticheskoj peremennoj i ego primenenie k prinjatiju priblizhennyh reshenij [Tekst] / L. Zade. M.: Mir, 1976. 166 p.
3. Kolesnikov A.V. Metodologija i tehnologija reshenija slozhnyh zadach metodami funkcionalnyh gibridnyh intellektualnyh sistem [Tekst] / A.V. Kolesnikov, I.A. Kirikov. M.: IPI RAN, 2007. 387 p.
4. Motienko A.I., Makeev S.M., Basov O.O. Analiz i modelirovanie processa vybora polozhenija dlja transportirovki post-radavshogo na osnove bajesovskih setej doverija [Tekst] // Trudy SPIIRAN. 2015. no. 6(43). pp. 135–155.
5. Hamukov Ju.H. Fenomeny geterofaznogo mira. Paradoksy «problemy bezopasnosti» [Tekst]: // Izvestija Kabardino-Balkarskogo nauchnogo centra RAN. 2011. no. 1. pp. 257–260.
6. Jedgulova E.K., Hamukov Ju.H., Shaucukova L.Z. Matematicheskaja model reshenija zadachi ranzhirovanija geterofaznyh sistem v uslovijah neopredelennosti sostojanija sredy s obvolakivajushhim intellektom [Tekst] // Izvestija KBNC RAN. 2015. T. 2, no. 6 (68). pp. 220–226.
7. Jedgulova E.K. Matematicheskaja model zadachi ocenki i ranzhirovanija jekologicheskoj sistemy v uslovijah nepolnoty informacii [Tekst] // Izvestija KBGAU. 2013, no. 2(2). pp. 143–145.