

- формационные технологии и системы 2017 (ИТС 2017) = Information Technologies and Systems 2017 (ITS 2017) : материалы междунар. науч. конф. (Республика Беларусь, Минск, 25 октября 2017 года) / редкол. : Л. Ю. Шилин [и др.]. – Минск : БГУИР, 2017. – С. 138–139.
3. Ивашенко, В. П. Семантическое протоколирование процессов обработки знаний / В. П. Ивашенко // Информационные технологии и системы 2017 (ИТС 2017) = Information Technologies and Systems 2017 (ITS 2017) : материалы Междунар. науч. конф. (Республика Беларусь, Минск, 25 октября 2017 года) / редкол. : Л. Ю. Шилин [и др.]. – Минск : БГУИР, 2017. – С. 110–111.
 4. Allen, J.F. Time and time again: the many ways to represent time / J.F. Allen // Intern. J. of Intelligent Systems. – 1991. – Vol. 6. – P. 341–355.
 5. Derczynski, L. Empirical Validation of Reichenbach's Tense Framework / L. Derczynski, R. Gaizauskas // Proceedings of the 10th Conference on Computational Semantics, ACL. – 2013. – P. 71–82.
 6. Staab, S. From binary temporal relations to non-binary ones and back // Artificial Intelligence. – 2001. – Vol. 128 (1-2). – P. 1–29.
 7. Penrose, R. Techniques of Differential Topology in Relativity / R. Penrose. Verlag: Society for Industrial Applied Mathematics, Philadelphia, Pennsylvania. – 1972. – viii + 68 p.
 8. Pustejovsky, J. The specification language TimeML / J. Pustejovsky, B. Ingria, R. Sauri, J. Castano, J. Littman, R. Gaizauskas, A. Setzer, G. Katz, I. Mani // In: The Language of Time: A Reader, Oxford University Press. – 2005. – P. 545–557.
 9. Gerevini, A. Efficient Temporal Reasoning through Timegraphs / A.Gerevini, L.K. Schubert // In: Proceedings of the 13th International Joint Conference on Artificial Intelligence, California, USA. – 1993. – Vol. 1. – P. 648–654.
 10. Hartmann, T. Model-based time-distorted Contexts for efficient temporal Reasoning / T. Hartmann, F. Fouquet, G.Nain, B. Morin, J. Klein, Y.L. Traon, // In: The 26th International Conference on Software Engineering and Knowledge Engineering, SEKE 2014, Vancouver, BC, Canada, July 1-3, 2014. – 2014. – P. 746–747.
 11. Kurilenko, I.E. The Algorithm to Retrieve Temporal Cases for Temporal Case-Based Reasoning / I. E. Kurilenko, N. A. Guliakina // Открытые семантические технологии проектирования интеллектуальных систем = Open Semantic Technologies for Intelligent Systems (OSTIS-2017) : материалы Международной научно-технической конференции (Минск, 16 – 18 февраля 2017 года) / редкол. : В. В. Голенков (отв. ред.) [и др.]. – Минск : БГУИР, 2017. – С. 191–194.
 12. Nilsson, M., Efficient Temporal Reasoning with Uncertainty. Licentiate Thesis. In series: Linköping Studies in Science and Technology. Thesis #1722. Linköping University Electronic Press. – 2015. – 116 p.
 13. Ahn, D. Supporting temporal question answering: Strategies for offline data collection / D. Ahn, S. Schockaert, M. De Cock, E. Kerre // In: Proceedings of the 5th International Workshop on Inference in Computational Semantics. – 2006. – P. 127–132.
 14. Harabagiu, S. Question Answering Based on Temporal Inference / S. Harabagiu, C.A. Bejan // In: Proceedings of the AAAI'05 Workshop on Inference for Textual Question Answering, Pittsburgh, PA, USA. – 2005. – P. 27–34.
 15. Llorens, H. SemEval-2015 Task 5: QA TempEval – Evaluating Temporal Information Understanding with Question Answering / H.Llorens, N. Chambers, N. UzZaman, N. Mostafazadeh, J.F. Allen, J. Pustejovsky. – 2015. – P. 792–800.
 16. Нариньяни, А.С. НЕ-факторы: неточность и недоопределенность — различие и взаимосвязь // Изв. РАН. Сер. Теория и системы управления. – 2000. – № 5. С. 44–56.
 17. Ивашенко, В.П. Модели и алгоритмы интеграции знаний на основе однородных семантических сетей: материалы Международной научн.-техн. конференции OSTIS, 2015 : Минск, Республика Беларусь, БГУиР 19-21 февраля 2015, 111–132 с.
 18. Поспелов, Д.А. Ситуационное управление: теория и практика. – Москва : Наука, 1986. – 288 с.
 19. Ивашенко, В.П. От теоретико-множественных моделей к симплициальным моделям языков / В.П. Ивашенко // Карповские научные чтения : сб. науч. ст. / Белорус. гос. ун-т; редкол. : А.И. Головня (отв. ред.) [и др.]. – Минск, 2016. – Вып. 10, ч. 1. – С. 248–253.

Материал поступил в редакцию 26.12.2017

IVASHENKO V.P. Ontological model of space-time relations for events and phenomena in processing of knowledge annotation

The article deals with the ontological model and semantic network representation of the space-time relations between knowledge processing events represented by the model of the unified semantic knowledge representation. The ontological representation is required for semantic logging of processes of processing of knowledge by means of procedures and neural networks.

УДК 004.827

Карканица А.В.

ОЦЕНКА НЕОПРЕДЕЛЕННОСТИ В АДАПТИВНЫХ СИСТЕМАХ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ

Введение. Современный этап развития общества характеризуется большим динамизмом и изменчивостью среды принятия решений. Это объясняется общими процессами глобализации, высокими темпами научно-технического прогресса, быстрым ростом объемов и источников информации [1]. Основным свойством среды является неопределенность, обусловленная неточностью или неполнотой исходных данных, отсутствием адекватной математической модели [2, 3]. Меняется природа, масштаб и структура задач принятия решений (ЗПР). Решения, многих из них требуют использования специфических знаний различной природы, которые размещены в сотнях территориально распределенных источников [3]. Информация, от полноты и актуальности которой зависит эффективность принимаемых решений, имеет тенденцию быстрого устаревания [4].

В таких условиях ЗПР традиционно решаются с привлечением

внешних источников знаний, которыми, как правило, являются высококвалифицированные эксперты. Общество интуитивно почувствовало необходимость и увидело технологическую возможность решения новых задач коллективами экспертов с различными специализациями. Подтверждением тому являются технологии «краудсорсинга», «форсайта», «крауд-форсайта» [5, 6].

Процесс решения любой ЗПР включает информационные, алгоритмические и технологические средства для его реализации. Эти средства образуют так называемую предметную область (ПрО) задачи [7]. В условиях бурной информатизации общества возникает необходимость принятия решений в плохо формализуемых (с точки зрения математики) областях, таких как медицина, экономика, экология, образование. Знания и опыт решения подобного рода задач по причине их оригинальности зачастую отсутствуют [7]. Так как коли-

Карканица Анна Викторовна, старший преподаватель кафедры современных технологий программирования Гродненского государственного университета имени Янки Купалы, e-mail: karkanica@gmail.com.
Беларусь, ГрГУ им.Я.Купалы, 230023, г. Гродно, ул. Ожешко, 22.

чество привлеченных экспертов (источников знаний) и решаемых подзадач на момент начала решения неизвестно, то модель ПрО в процессе решения требует постоянного уточнения. Поэтому любая из указанных выше составляющих ПрО может быть источником неопределенности. Решение ЗГР в условиях неопределенности предметной области повышает риск принятия неэффективных решений. Естественно возникает проблема, связанная с понижением уровня неопределенности ПрО.

В работе предлагается один из возможных подходов к решению проблемы, основанный на разработке систем поддержки принятия решений с модулями адаптации к изменениям ПрО. Проводится классификация неопределенностей. Предлагается метод количественной оценки текущего уровня неопределенности ПрО. На основании полученной оценки определяется момент готовности ПрО для принятия решений или делается вывод о необходимости ее структурной и/или информационной адаптации.

Анализ проблемы и постановка задачи. Рассмотрим понятие неопределенности как крайне важное для ЗГР современного периода и адаптивных систем принятия решений.

В трудах В.Н. Буркова, Н.А. Коргина, Д.А. Новикова процесс принятия решений в условиях неопределенности описывается в силу гипотезы детерминизма: субъект, принимая решение, стремится устранить неопределенность и принимать решения в условиях полной информированности [8, 9]. То есть неопределенность – это недостаточная информированность, как относительно существенных характеристик среды принятия решений, так и относительно субъектов, участвующих в построении ПрО (в нашем случае, экспертов). В других источниках неопределенность определяется как опасность использования устаревших или недостоверных, то есть не подтвержденных авторитетом профессиональных экспертов, знаний. Применительно к ЗГР, неопределенность понимается как отсутствие, недостаточность или некорректность информационных или других ресурсов, необходимых для принятия решений.

В теории активных систем (АС) существует классификация, в которой выделяются три типа неопределенности: внутренняя неопределенность (относительно параметров самой АС); внешняя неопределенность (относительно параметров окружающей среды, внешних по отношению к АС); смешанная неопределенность (для части участников АС – внутренняя, для других – внешняя) [9].

Как показывает анализ литературы, тема неопределенности чаще рассматривается с теоретических позиций, далеких от конкретных прикладных задач. Предложенные определения и классификация видов неопределенности носят крайне общий характер и требуют уточнения в контексте задачи построения ПрО ЗГР. Более того, наблюдается различное толкование одного и того же термина разными науками. Задача оценки уровня неопределенности зачастую решается традиционным методом субъективных экспертных оценок, который достаточно эффективен на практике, но трудоемок при автоматизации [7]. Для рассматриваемого класса ЗГР на основе распределенных экспертных знаний ручные экспертные методы оценивания не эффективны, так как количество составляющих решения велико. Возникает задача разработки метода и соответствующего алгоритма, автоматизирующего процесс оценки неопределенности ПрО.

Будем рассматривать задачу построения ПрО в условиях неопределенности для ЗГР на основе распределенных экспертных знаний. Для формализации постановки задачи используем онтологический подход. Пусть имеется некоторая сложно структурированная задача *Task*, включающая постановку общей задачи S_0 и ее n атомарных подзадач:

$$Task = (S_0, S^1, S^2, \dots, S^n), n \rightarrow \infty. \quad (1)$$

В рамках каждой S^i известна постановка задачи *Text*, спецификация требований *Spec*, цель *Goal* и ограничения на время решения *Time*, описанные кортежем:

$$S^i = (Text^i, Spec^i, Goal^i, Time^i). \quad (2)$$

В сцене решения *Scene* участвуют центр *Center* и k территориально распределенных экспертов E^k , являющихся источниками компетентных знаний:

$$Scene = (S_0, Center, E^1, E^2, \dots, E^k), k \leq n. \quad (3)$$

Центр выполняет предварительную декомпозицию исходной задачи на подзадачи S^i и распределяет их между источниками знаний (экспертами). Эксперты известны центру, компетентны, между задачами S^i и экспертами E^k установлено взаимно однозначное соответствие. В процессе решения задачи S^i эксперт или центр могут принять решение о ее дальнейшей декомпозиции на атомарные подзадачи ввиду отсутствия актуальных знаний или с целью уменьшения сложности текущей задачи. Для решения всех атомарных подзадач S^i необходимы знания Z^i , в сумме составляющие ПрО.

ПрО строится в условиях изменяющейся среды *Env*, любое возмущение которой может привести к возникновению неопределенности. Возмущением среды будем считать любое возмущение, оказывающее действие на состав кортежей (1), (2), (3), то есть:

- изменение множества подзадач исходной задачи;
- изменение требований, целей, ограничений на время решения подзадач;
- количественное или качественное изменение состава группы экспертов;
- устаревание знаний и появление новейших знаний.

Требуется разработать метод количественной оценки неопределенности ПрО в любой момент времени T после начала решения и соответствующий алгоритм, автоматизирующий процесс количественной оценки неопределенности.

Количественная оценка неопределенности ПрО. В контексте разработки систем поддержки принятия решений (СППР) под предметной областью понимается комплекс организационной (структурной), информационной, алгоритмической и технологической составляющих решения. В каждой из этих составляющих могут возникнуть неопределенности соответствующих типов. В данном исследовании для рассматриваемого класса ЗГР ограничимся рассмотрением структурной A^{inf} и информационной A^{org} неопределенности.

Информационная неопределенность возникает, например, в случае если знания для решения текущей задачи устаревают, теряют свою актуальность. Или, наоборот, решение текущей подзадачи невозможно ввиду отсутствия актуальных экспертных знаний. Структурная неопределенность может быть вызвана изменением состава объектов предметной области: включение в состав экспертной группы новых исполнителей, исключение эксперта из состава, вынужденная декомпозиция одной из подзадач ввиду ее сложности, удаление подзадачи в силу ее тривиальности и другие изменения.

Информационную неопределенность A^{inf} определим как ситуацию отсутствия паттерна знаний Z^i для решения одной или нескольких атомарных подзадач S^i исходной задачи. Структурная неопределенность A^{org} – это неопределенность множества объектов предметной области $(S^1, S^2, \dots, S^n, E^1, E^2, \dots, E^k)$, состав которого для ЗГР в условиях изменяющейся среды априори неизвестен ($n \rightarrow \infty, k \leq n$). Тогда неопределенность ПрО можно оценить, получив оценки неопределенности ее составляющих в некоторые моменты времени.

Чтобы иметь возможность получить количественную оценку, необходимо выделить некоторые измеримые атрибуты объектов ПрО, значения которых отображаются на отрезок $[1 - 0]$. Левая граница отрезка соответствует максимальному значению неопределенности, правая – минимальному. Это даст возможность представить A^{inf} и A^{org} вектором числовых значений.

Ранее было показано [10], что в соответствии с теоретико-множественным представлением модель ПрО задачи (1) может быть представлена множеством объектов соответствующих классов. Выделялись следующие классы: *Task*, *Center*, *Expert*, *Env* – задача, центр, эксперт, окружение (среда). Причем объекты классов *Center* и *Env* существуют в единственном экземпляре, количество экземпляров классов *Task* и *Expert* непостоянно и может

изменяться во времени. Отношения между объектами классов *Center*, *Task*, *Expert* представлены ациклическим графом в виде атрибурованного дерева. Каждой подзадаче S^j поставлена в соответствие вершина дерева, которой присвоен уникальный идентификатор и набор атрибутов [11]:

$$V \Leftarrow \langle id, Attr^{id} \rangle, Attr^{id} \Leftarrow \langle task, name, addr, status, inf \rangle, (4)$$

где *id* – уникальный идентификатор задачи;

task – постановка задачи и требования к решению;

status – состояние задачи (0 – задача инициализирована, но не решена, требуется дальнейшая декомпозиция; 1 – задача назначена эксперту и находится в процессе решения, 2 – задача решена, получен паттерн знаний Z^0);

name – уникальный идентификатор эксперта;

addr – адрес эксперта;

inf – информационная составляющая, фактически решение задачи Z^{id} , представленное в одном из допустимых форматов.

Атрибуты *status* и *inf* в кортеже (4) наиболее информативны с точки зрения оценки уровня неопределенности. Более того, их значения легко отображаются на числовой отрезок. Это позволяет представить уровень неопределенности вектором числовых значений.

Значение атрибута *status* будем использовать для оценки структурной неопределенности, считая, что его значение 0 или 1 соответствует максимальному уровню неопределенности (неопределенность=1), значение 2 означает отсутствие неопределенности (неопределенность=0).

Значение атрибута *inf* будем использовать для оценки информационной неопределенности, считая, что его значение *null* соответствует максимальному уровню неопределенности, значение *!null* (*not null*) означает отсутствие неопределенности. На рис. 1 схематически, в форме дерева с атрибутами, представлен одномоментный снимок фрагмента ПрО в некоторый момент времени *t* и состояние вектора оценки уровня информационной и структурной неопределенности.

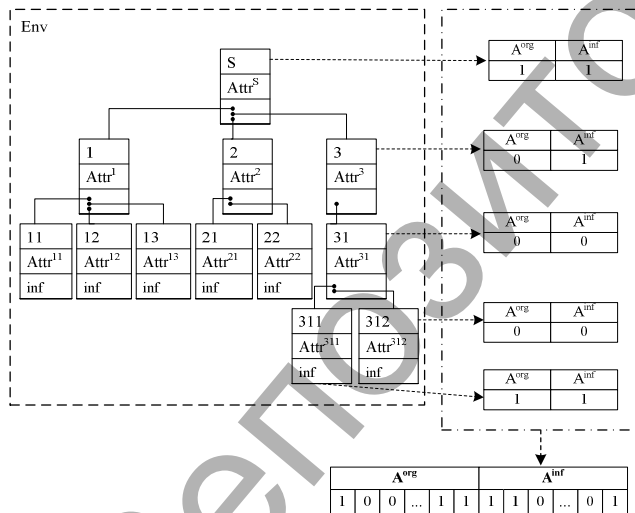


Рисунок 1 – Фрагмент ПрО с вектором неопределенности

Выполняя обход вершин древовидной модели ПрО в дискретные моменты времени *t*, получим вектор оценки уровня неопределенности A^i . На момент начала решения задачи неопределенность ПрО будем считать максимальной, а вектор A^0 состоящим из 1. Каждый следующий вектор A^i , построенный в момент времени *t*, будет состоять из элементов 0 или 1 и отражать снижение уровня неопределенности.

Элементы вектора разделим на два кортежа (левый и правый), для того, чтобы иметь информацию о типе неопределенности. Элементы левого кортежа будут отражать уровень информационной неопределенности ПрО, элементы правого – структурной:

$$A^0 = (A^{org0} | A^{inf0}) = (1, 1, 1, \dots, 1 | 1, 1, 0, \dots, 1); \quad (5)$$

$$A^i = (A^{org i} | A^{inf i}) = (1, 0, 0, \dots, 1 | 1, 1, 0, \dots, 0). \quad (6)$$

Таким образом, мы получили числовой способ описания неопределенности, который делает уровень неопределенности ПрО измеримым. Получить количественную оценку уровня неопределенности можно, введя коэффициент неопределенности ПрО, который определяется как отношение количества нулевых элементов текущего вектора и единичных элементов базового вектора [4]. Текущим вектором является вектор A^i , построенный в момент времени *t*. Базовым является вектор A^0 , построенный в момент начала решения задачи t^0 . В нашем случае необходимо вычислить два коэффициента - структурной и информационной неопределенности:

$$K^{org} = \frac{A_{(0)}^{org i} [1] + A_{(0)}^{org i} [2] + \dots + A_{(0)}^{org i} [k]}{A_{(1)}^{org 0} [1] + A_{(1)}^{org 0} [2] + \dots + A_{(1)}^{org 0} [n]}, k \leq n; \quad (7)$$

$$K^{inf} = \frac{A_{(0)}^{inf i} [1] + A_{(0)}^{inf i} [2] + \dots + A_{(0)}^{inf i} [k]}{A_{(1)}^{inf 0} [1] + A_{(1)}^{inf 0} [2] + \dots + A_{(1)}^{inf 0} [n]}, k \leq n. \quad (8)$$

В случае если K^{org} и K^{inf} равны 1, неопределенность отсутствует и делается вывод о готовности ПрО к принятию решений. Любые другие значения коэффициентов говорят о наличии неопределенности, факт возникновения которой свидетельствует о необходимости структурной и/или информационной адаптации ПрО к изменившимся условиям среды.

Алгоритм оценки неопределенности. На основании представленных выше рассуждений и описанного механизма оценки неопределенности, построим алгоритм получения количественной оценки неопределенностей A^{inf} и A^{org} .

Шаг 1. Инициализация коэффициентов неопределенности, времени начала решения задачи, шага итерации:

$$K^{org} = null$$

$$K^{inf} = null$$

$$t = t^0$$

$$i = 0$$

Шаг 2. Определить *n* – количество объектов класса *Task* в ПрО, выполнив обход вершин древовидной модели ПрО.

Шаг 3. Сформировать двухкомпонентный вектор неопределенности A^0 , включив в его левый и правый кортежи *n* элементов со значением 1.

$$A^0 = (1, 1, 1, \dots, 1 | 1, 1, 0, \dots, 1)$$

$$i = 1$$

Шаг 4. Дождаться дискретного момента времени *t*

$$t = t^0 + i * delta$$

$$i++$$

Шаг 5. Считать значения атрибутов *status* и *inf* для всех *n* вершин древовидной модели ПрО, соответствующих объектам класса *Task*.

Шаг 6. На основании данных шага 5 сформировать вектор неопределенности A^i :

$$\text{Если } (status == 0 \text{ or } status == 1) A^{org i} [j] = 1, \text{ иначе } A^{org i} [j] = 0, \text{ где } j = 1 \dots n.$$

$$\text{Если } (inf == null) A^{inf i} [j] = 1, \text{ иначе } A^{inf i} [j] = 0, \text{ где } j = 1 \dots n.$$

Шаг 7. Вычислить значения коэффициентов неопределенности как отношение количества нулевых элементов вектора A^i и единичных элементов вектора A^0 .

$$K^{org} = \frac{A_{(0)}^{org i} [1] + A_{(0)}^{org i} [2] + \dots + A_{(0)}^{org i} [k]}{A_{(1)}^{org 0} [1] + A_{(1)}^{org 0} [2] + \dots + A_{(1)}^{org 0} [n]}, k \leq n;$$

$$K^{inf} = \frac{A_{(0)}^{inf i} [1] + A_{(0)}^{inf i} [2] + \dots + A_{(0)}^{inf i} [k]}{A_{(1)}^{inf 0} [1] + A_{(1)}^{inf 0} [2] + \dots + A_{(1)}^{inf 0} [n]}, k \leq n.$$

Шаг 8. Если $(K^{org} = 1 \text{ and } K^{inf} = 1)$, то Шаг 9, иначе Шаг 4.

Шаг 9. Конец.

Следует уточнить, что значения атрибутов *status* и *inf* изменяются в процессе приобретения знаний от удаленных экспертов, поэтому и необходима задержка *delta* между итерациями цикла оценки неопределенности. В случае если на шаге 8 результат сравнения истинен только для одного из коэффициентов, то можно говорить об устранении только одного типа неопределенности (информационной или структурной) и делать вывод о готовности ПрО преждевременно. Вместо этого в контексте разработки модуля адаптации следует запускать механизмы структурной или информационной адаптации ПрО, алгоритмы реализации которых являются предметом следующих исследований.

Заключение. В данной статье рассматривается проблема принятия решений в условиях неопределенности ПрО. Предлагается один из возможных подходов к решению проблемы, основанный на разработке систем поддержки принятия решений с модулем адаптации к изменениям ПрО. Ставится задача разработки метода и соответствующего алгоритма количественной оценки неопределенности, позволяющего вычислять текущий уровень неопределенности ПрО. Проводится классификация неопределенностей. Предлагается уточнение понятия неопределенности, имеющее прикладное значение для ЗПР, которые решаются с привлечением знаний распределенных экспертов. Выделяются значимые с точки зрения ЗПР типы неопределенностей. Предлагается метод количественной оценки текущего уровня неопределенности ПрО. Вводится понятие коэффициента неопределенности, значение которого позволяет определить момент готовности ПрО для принятия решений или сделать вывод о необходимости ее структурной и/или информационной адаптации.

СПИСОК ЦИТИРОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Ткачук, Е.О. Требования к адаптивным системам поддержки принятия управленческих решений / Е.О. Ткачук // Известия ТРТУ. – 2002. – № 2. – С. 248–251.
2. Бочарников, В.П. Fuzzy-технология: Математические основы. Практика моделирования в экономике / В. П. Бочарников. – Санкт-Петербург: «Наука» РАН, 2001. – 328 с.

3. Блюмин, С.Л. Модели и методы принятия решений в условиях неопределенности / С. Л. Блюмин, И. А. Шуйкова. – Липецк: ЛЭГИ, 2001. – 138 с.
4. Вальвачев, А.Н. Алгоритмы и технология для построения систем поддержки оперативного принятия решений в распределенных организациях: автореф. дис. ...канд. техн. наук: 05.13.17 / А.Н. Вальвачев; Белорусский государственный университет. – Минск, 2011. – 22 с.
5. Howe, J. The rise of crowdsourcing forget outsourcing / J. Howe // San Francisco: Wired. – 2006. – №14(6) – P. 176–183.
6. Newmann, M.E.J. The structure of scientific collaboration networks / M.E.J. Newmann // Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America. – 2001. – Vol. 98, no. 2. – P. 404–409.
7. Вальвачев, А.Н. Алгоритмы и технология для построения систем поддержки оперативного принятия решений в распределенных организациях: дис. ... канд. техн. наук: наук: 05.13.17 / А.Н. Вальвачев. – Минск, 2011. – 111 л.
8. Бурков, В.Н. Введение в теорию управления организационными системами / В.Н. Бурков, Н.А. Коргин, Новиков Д. А.; под ред. Д.А. Новикова. – М.: Либроком, 2009. – 264 с.
9. Бурков, В.Н. Теория активных систем: состояние и перспективы / В.Н. Бурков, Д.А. Новиков. – М.: Синтег, 1999. – 128 с.
10. Карканица, А.В. Онтологический подход к построению моделей динамических предметных областей / А.В. Карканица // Веснік Гродзенскага дзяржаўнага ўніверсітэта імя Янкі Купалы. Сер 2. Матэматыка. Фізіка. Інфарматыка, вылічальная тэхніка і ўпраўленне. Біялогія. – 2010. – № 1(92). – С. 92-97.
11. Карканица, А.В. Метод построения динамических предметных областей на основе стандарта моделирования High Level Architecture / А.В. Карканица // Веснік Гродзенскага дзяржаўнага ўніверсітэта імя Янкі Купалы. Сер 2. Матэматыка. Фізіка. Інфарматыка, вылічальная тэхніка і кіраванне. – 2016. – Т.6. – № 3. – С. 124–132.

Материал поступил в редакцию 09.01.2018

KARKANITSA A.V. Uncertainty estimation in adaptive decision making systems

The problem of decision making under uncertainty is considered. It is pointed out that most significant decisions made in today's complex environment are formulated under a state of uncertainty. The purpose of the research is to develop a method for estimating a subject domain uncertainty. A method and algorithm for the quantitative estimation of the current level of uncertainty is proposed. The method is based on the construction of the state vector of the subject domain and the uncertainty coefficient computation. It is shown that having the value of uncertainty coefficient it is possible to determine the moment of readiness of the subject domain or make a decision on the need for its adaptation.

УДК 004.855.5

Краснопрошин В.В., Родченко В.Г.

АНАЛИЗ ПРОСТРАНСТВ РЕШЕНИЙ В ЗАДАЧАХ ОБУЧЕНИЯ ПО ПРЕЦЕДЕНТАМ

Введение. Разработка новых подходов (и соответствующих средств) для эффективного извлечения практически полезной информации из больших массивов (неструктурированных или слабо структурированных) данных является одним из основных трендов развития и применения информационных технологий в различных сферах человеческой деятельности [1–3].

В частности, одной из актуальных проблем машинного обучения (Machine Learning) и интеллектуального анализа данных (Data Mining) является автоматическое обнаружение скрытых внутри данных и интерпретируемых в рамках предметной области закономерностей [4–6].

Традиционные методы и технологии в обучении по прецедентам ориентированы на построение алгоритмов классификации, на осно-

ве которых в дальнейшем принимаются практически полезные решения [7]. На сегодняшний день в рамках такого подхода эффективно решается большое число прикладных задач. Особые успехи достигнуты в области обработки и распознавания графических изображений с применением искусственных нейронных сетей [8]. Однако “родимым пятном” традиционных методов является то, что любой построенный на их основе алгоритм фактически представляет собой “черный ящик”, результаты работы которого не поддаются интерпретации в терминах предметной области [9, 10].

Альтернативным (к обучению по прецедентам) является подход, который связан с разработкой алгоритмов, направленных на выявление (на основе анализа данных обучающей выборки) признаков пространств, в которых классы не пересекаются. В результате ока-

Краснопрошин Виктор Владимирович, д.т.н., профессор, заведующий кафедрой Белорусского государственного университета.

Беларусь, 220050, г. Минск, пр. Независимости, 4.

Родченко Вадим Григорьевич, к.т.н., доцент кафедры современных технологий программирования Гродненского государственного университета имени Янки Купалы.

Беларусь, 230023, г. Гродно, ул. Э. Ожешки, 22.