

ОНТОЛОГИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ПРОСТРАНСТВЕННО-ВРЕМЕННЫХ ОТНОШЕНИЙ СОБЫТИЙ И ЯВЛЕНИЙ В ПРОЦЕССАХ ОБРАБОТКИ ЗНАНИЙ

Введение. В системах искусственного интеллекта одним из важных качеств является умение объяснить полученное решение, выразив его на языке, что является одним из признаков сознания [1]. Наличие соответствующего качества обеспечивает систему интроспективными возможностями с целью её совершенствования. В основе получения решений лежат процессы обработки знаний, поэтому важно рассмотреть сопутствующие механизмы, которые способны обеспечить возможность объяснения решений, например путём протоколирования соответствующих процессов. Семантическое протоколирование заключается в записи на языке представления знаний, например в виде семантической сети, знаний о порядке выполняемых действий и событий в процессах обработки знаний. В работе предлагается онтологическая модель пространственно-временных отношений, являющаяся основой для описания взаимосвязи явлений и событий в процессах обработки знаний [2, 3].

На текущем этапе доступны известные темпоральные (временные) физические и абстрактные модели и соответствующие им логики, в рамках которых изучаются свойства темпоральных отношений [4–8]. Разработаны алгоритмы, позволяющие устанавливать различные отношения на моделях разной сложности (временные графы (timegraphs) и другие) [4, 9–12]. Созданы системы, которые выявляют отношения в текстах и данных в глобальных компьютерных сетях [13–15].

Однако разработанные модели темпоральных отношений ориентированы либо на описание явлений и процессов в конкретных физических системах в рамках проводимых экспериментов и недостаточны абстрактны для того, чтобы описать сложные информационные процессы, моделирующие поведение систем, обладающих сознанием, либо являясь абстрактными моделями, не приспособлены для описания информационных процессов, обладающих не только временными свойствами, но также и пространственной распределённостью в условиях присутствия НЕ-факторов знаний [16], включая их неполноту, неопределённость, неактуальность и гипотетичность [17].

В основу предлагаемого подхода положена онтологическая модель [17] событий и явлений [2]. Каждое явление рассматривается как модель, заданная на множестве (элементарных) событий, связанных бинарным отношением становления. Частными видами явлений являются: ситуация [18], движение, взаимодействие, действие, система. Между явлениями рассматриваются такие отношения, как воздействие, процесс, состояние и другие [2]. В данном подходе знания и их обработка онтологически представляются как особый вид явлений, обладающих некоторой структурой. Все эти явления и события записываются на языке представления знаний в рамках модели унифицированного семантического представления знаний [17].

Унифицированное семантическое представление знаний и процессов их обработки. Языки модели унифицированного семантического представления знаний соответствуют симметричным графовым языкам L теоретико-множественной модели [19], заданным на алфавите A как:

$$L \subseteq A^*$$

где A^* задано иерархией:

$$A^{*1} = A^* ; A^{*i+1} = (A^{*i} \cup A)^* ; A^{*\infty} = \bigcup_{i=0}^{\infty} (A^{*i})$$

Алфавит языков модели унифицированного семантического представления знаний позволяет выразить следующие элементарные обозначения (sc-элементы) (табл. 1), используемые в текстах этих языков, достаточные для представления любых знаний.

Каждый sc-элемент является знаком (обозначением), т. е. способен значить (обозначать своё значение). Частным случаем знака является sc-знак. Каждый sc-знак имеет единственное собственное значение.

Семантика языков модели унифицированного семантического представления знаний основана на модели ситуативных множеств [17]. Модель ситуативных (событийных) множеств (sc-множеств) может быть задана следующей шестёркой компонентов:

Таблица 1 – Изображения sc-элементов

		название обозначения		изображение	
				константные	переменные
sc-элемент	sc-узел				
	sc-коннектор				
	sc-ребро				
	sc-дуга	принадлежности	постоянная		
			актуальная временная		
			неактуальная временная		
		нечёткой принадлежности	неактуальная временная		
			актуальная временная		
			непринадлежности		
	общего вида				

$$\langle U, [0;1], E, r, g, \mu \rangle; \mu \subseteq 2^E \times \left(2^{U \times (Z \times (Z^E))} \right);$$

$$Z = \bigcup_q^{q \in (\square / \{0\})} [0;1]^{(\{0;1\}^{q-1})},$$

где U – универсальное множество объектов предметной области, E – множество элементарных событий, r – отношение доступности (становления) событий, g – функция, задающая множество событий существования каждого элемента универсального множества, μ – семейство пар множеств событий существования ситуативного множества и соответствий (нечёткой) ситуативной принадлежности элементов универсального множества ситуативному множеству, отображающих элементы ситуативных множеств, множества событий и соответствующие им наборы степеней нечёткой принадлежности высших порядков на множество степеней нечёткой принадлежности.

Ситуативное множество (sc-множество) из двух компонентов (элементов) – это sc-пара.

Каждый sc-элемент – обозначение sc-множества.

Каждому константному sc-элементу сопоставляется sc-знак sc-множества, обозначаемого этим sc-элементом.

Каждый константный sc-узел не является обозначением ни одной из sc-пар, обозначаемых какой-либо константной sc-дугой.

Каждая sc-дуга является обозначением sc-пары, первым компонентом которой является обозначение sc-множества, обозначаемого тем sc-элементом, из которого она выходит, и вторым компонентом которой является обозначение sc-множества, обозначаемого тем sc-элементом, в который она входит.

Каждая константная sc-дуга постоянной (не)принадлежности является обозначением sc-пары, первым компонентом которой является (обозначение) sc-знак sc-множества S , обозначаемого тем

sc-элементом, из которого она выходит, и вторым компонентом которой, постоянно (не) являющимся элементом sc-множества S , является обозначение sc-множества, обозначаемого тем sc-элементом, в который она входит.

Каждая константная sc-дуга актуальной временной (не)принадлежности является обозначением sc-пары, первым компонентом которой является (обозначение) sc-знак sc-множества S , обозначаемого тем sc-элементом, из которого она выходит, и вторым компонентом которой, в настоящий момент временно (не) являющимся элементом sc-множества S , является обозначение sc-множества, обозначаемого тем sc-элементом, в который она входит.

Каждая константная sc-дуга неактуальной временной (не)принадлежности является обозначением sc-пары, первым компонентом которой является (обозначение) sc-знак sc-множества S , обозначаемого тем sc-элементом, из которого она выходит, и вторым компонентом которой, временно (не) являющимся элементом sc-множества S , является обозначение sc-множества, обозначаемого тем sc-элементом, в который она входит.

В системах обработки знаний происходят события, соответствующие установлению и удалению знаков информационных конструкций. Процессы и механизмы в системах обработки знаний, построенных на основе модели унифицированного семантического представления знаний, способны реагировать на эти события с помощью механизмов пре- и пост-уведомлений. Первые позволяют предотвратить уничтожение или установление нежелательного события, вторые – обработать результат. Каждое событие или явление в соответствии с семантикой ситуативных множеств может быть представлено в виде соответствующего знака-элемента семантической сети. Следует отметить, что представление таких процессов и их моделирование средствами модели унифицированного семантического представления знаний связано не столько с изменением струк-

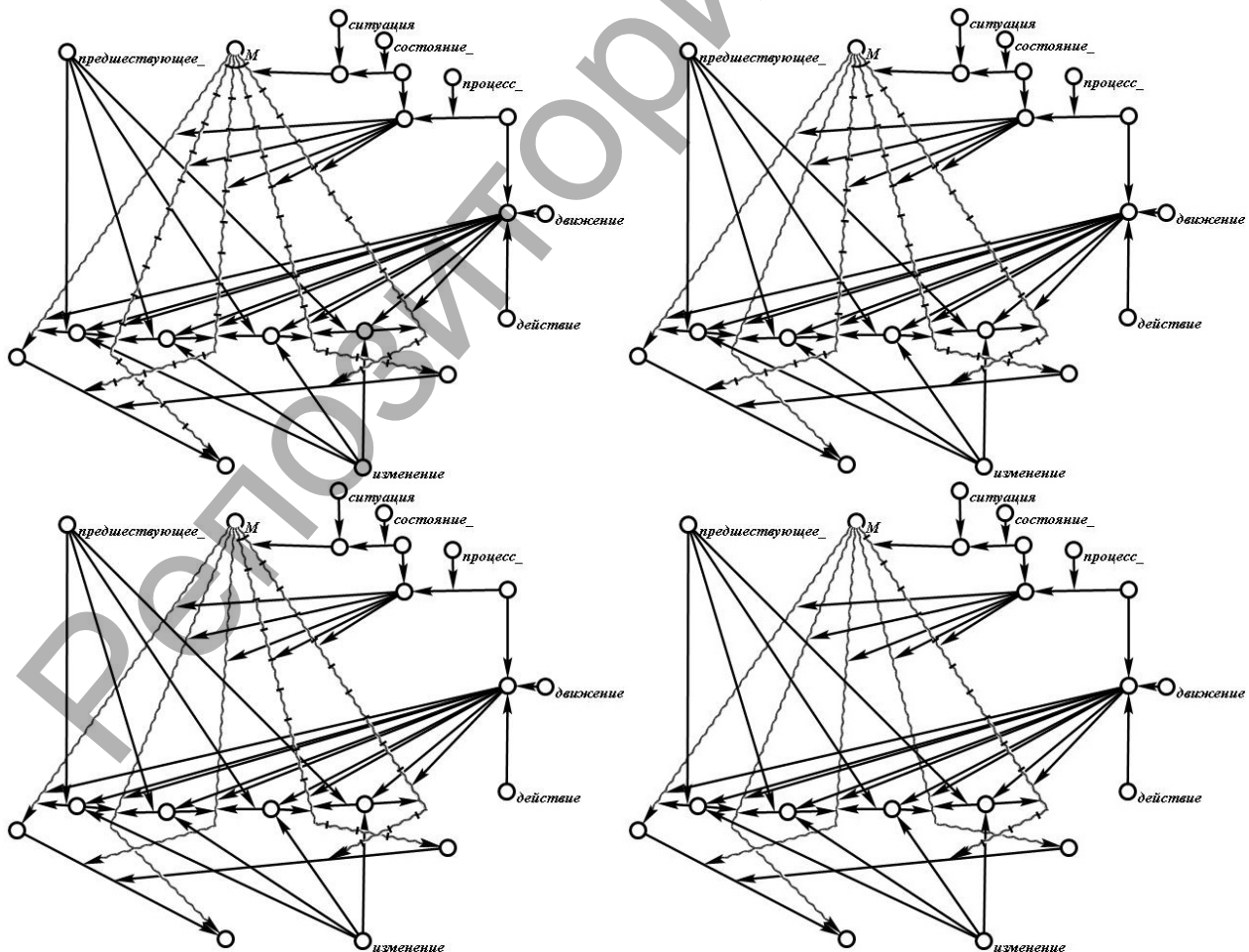


Рисунок 1 – Представление процесса действия, формирующего ситуативное множество (M) пяти sc-элементов, в динамике и его состояния

туры семантической сети, сколько с изменением типа sc-элементов (смены соответствующих меток для sc-дуг временной принадлежности), обеспечивая возможность монотонного изменения количества и множества связей инцидентности элементов семантической сети (рис. 1).

Пространственно-временные отношения и их онтологическое представление. В онтологию пространственно-временных отношений входят понятия события и феномена (события или явления) и отношения между ними [2].

Любое начинающее E событие феномена A ($BEG(E, A)$) есть событие, которое не имеет устанавливающих его событий феномена (т. е. находящихся прежде (R_p или r) него) (1).

$$\forall O((\{O\} \subseteq A) \rightarrow (\neg R_p(O, E))). \quad (1)$$

Любое оканчивающее E событие феномена A ($END(E, A)$) есть событие, которое не имеет устанавливаемых им событий феномена (2).

$$\forall O((\{O\} \subseteq A) \rightarrow (\neg R_p(E, O))). \quad (2)$$

Любое первичное (PRM) (финальное (FIM)) событие E феномена A есть событие, которое, если является оканчивающим (начальным) событием феномена без этого события, то принадлежит феномену, а если принадлежит феномену, то является начинающим (оканчивающим) событием феномена без этого события (3).

$$\begin{aligned} & ((END(E(A/\{E\})) \rightarrow (\{E\} \subseteq A)) \wedge ((\{E\} \subseteq A) \rightarrow BEG(E(A/\{E\}))))); \\ & ((BEG(E(A/\{E\})) \rightarrow (\{E\} \subseteq A)) \wedge ((\{E\} \subseteq A) \rightarrow END(E(A/\{E\}))). \quad (3) \end{aligned}$$

Любое событие E переустановки (PIB) события O установки феномена A есть событие, которое устанавливает все события, кроме первичных событий феномена, установленные событием установки феномена (4).

$$(PRM(QA) \wedge (\forall T((\{T\} \subseteq A) \rightarrow (PRM(T, A) \vee (R_p(T, E) \rightarrow R_p(T, O)))))). \quad (4)$$

Любое событие E предустранения (FIF) события O устранения феномена A есть событие, которое устанавливается всеми событиями, кроме финальных событий феномена, устанавливающими событие устранения феномена (5).

$$(FIM(QA) \wedge (\forall T((\{T\} \subseteq A) \rightarrow (FIM(T, A) \vee (R_p(T, E) \rightarrow R_p(T, O)))))). \quad (5)$$

Любое событие E появления (OCR) (уничтожения (DES)) феномена A есть событие, которое является первичным (финальным) событием феномена и для любого события, являющегося первичным (финальным) событием и событием переустановки (предустранения) данного события, если оно находится позже (раньше) данного, то, если и только если оно и есть данное (6).

$$\begin{aligned} & (PRM(E, A) \wedge (\forall O(PIB(A, E, O) \rightarrow ((R_p(E, O) \rightarrow (\{E\} = \{O\})))))); \\ & (FIM(E, A) \wedge (\forall O(FIF(A, E, O) \rightarrow ((R_p(O, E) \rightarrow (\{E\} = \{O\}))))). \quad (6) \end{aligned}$$

Любое событие E установления (INS) (удаления (RMV)) феномена A есть событие, которое является первичным (финальным) событием феномена и не является событием появления (уничтожения) феномена, если и только если любое первичное (финальное) событие, являющееся событием переустановки (предустранения) данного события, не является событием появления (уничтожения) феномена (7).

$$\begin{aligned} & (PRM(E, A) \wedge (\forall E(\neg OCR(E, A)) \square (\forall O(PIB(A, E, O) \rightarrow (\neg OCR(Q, A)))))); \\ & (FIM(E, A) \wedge (\forall E(\neg DES(E, A)) \square (\forall O(FIF(A, E, O) \rightarrow (\neg DES(Q, A))))). \quad (7) \end{aligned}$$

Любое первое (FST) (последнее (LST)) событие E феномена A есть событие феномена, являющееся начинающим (оканчивающим) событием феномена (8).

$$((\{E\} \subseteq A) \wedge BEG(E, A)); ((\{E\} \subseteq A) \wedge END(E, A)). \quad (8)$$

Любое примыкающее (IFW) (примкнутое (IBW)) явление E к A есть явление, любое событие после (прежде) любого события которого принадлежит другому явлению (9).

$$\begin{aligned} & (\forall T((\{T\} \subseteq E) \rightarrow (\forall O(R_p(T, O) \rightarrow (\{O\} \subseteq A)))); \\ & (\forall T((\{T\} \subseteq E) \rightarrow (\forall O(R_p(O, T) \rightarrow (\{O\} \subseteq A)))). \quad (9) \end{aligned}$$

Любое событие E или явление непосредственно перед (PRV) событием A или явлением, если и только если первое прежде второго

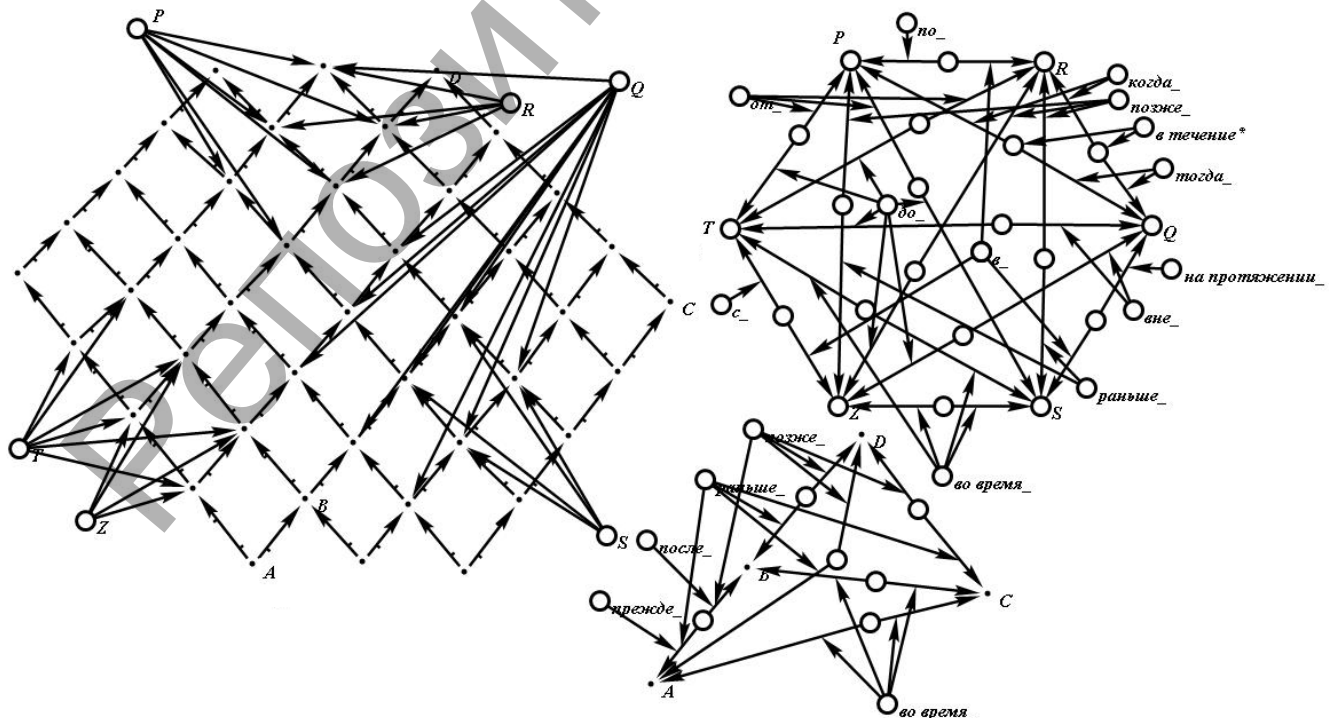


Рисунок 2 – Пример использования пространственно-временных отношений для событий A, B, C, D и явлений P, Q, R, S, T, Z

$(E, A) \leftarrow$ $v \leftarrow true$ <i>for each</i> $(O; O \in A)$ <i>if</i> $(R_p(O, E)) v \leftarrow false$ $\leftarrow v$	$(A, O) \leftarrow$ $v \leftarrow true$ <i>if</i> $(R_{BQ}(O, A)) v \leftarrow true$ <i>elsefor each</i> $(E; E \in A)$	$w \leftarrow true$ <i>for each</i> $(T; T \in O)$ <i>if</i> $(R_{BQ}(O, E)) w \leftarrow false$ <i>if</i> $(w) v \leftarrow false$ $\leftarrow v$
--	--	--

Рисунок 3 – Алгоритм вычисления предиката для понятия начинающего элемента

Рисунок 4 – Алгоритм вычисления предиката, характеризующего отношение R_F

Таблица 2 – Пространственно-временные отношения и их свойства

предикат	определяющее выражение
$R_p(A, O)$	$PRV(A, O)$
$R_N(A, O)$	$R_p(O, A)$
$R_B(A, O)$	$(BFR(A, O) \vee (\forall T((\{T\} \subseteq E) \rightarrow (\forall O((\{O\} \subseteq A) \rightarrow BFR(T, O))))))$
$R_A(A, O)$	$R_B(O, A)$
$R_{BQ}(A, O)$	$(R_B(A, O) \vee (\{A\} = \{O\}))$
$R_{AQ}(A, O)$	$R_{BQ}(O, A)$
$R_S(A, O)$	$((\forall E(INS(E, A) \square INS(E, O))) \vee (\{A\} = \{O\}))$
$R_T(A, O)$	$((\forall E(RMV(E, A) \square RMV(E, O))) \vee (\{A\} = \{O\}))$
$R_F(A, O)$	$((\forall E((\{E\} \subseteq A) \rightarrow (\neg(\forall T((\{T\} \subseteq O) \rightarrow (\neg R_{BQ}(T, E))))))) \vee R_{BQ}(O, A))$
$R_U(A, O)$	$((\forall E((\{E\} \subseteq A) \rightarrow (\neg(\forall T((\{T\} \subseteq O) \rightarrow (\neg R_{AQ}(T, E))))))) \vee R_{AQ}(O, A))$
$R_W(A, O)$	$(R_F(A, O) \wedge R_U(A, O))$
$R_H(A, O)$	$R_W(A, O)$
$R_E(A, O)$	$R_H(O, A)$
$R_D(A, O)$	$((\neg R_U(O, A)) \wedge (\neg R_F(O, A)))$
$R_V(A, O)$	$((\neg R_B(O, A)) \wedge (\neg R_A(O, A)))$
$R_I(A, O)$	$((\forall E((\{E\} \subseteq A) \rightarrow (\{E\} \subseteq O))) \vee (\{A\} = \{O\}))$
$R_O(A, O)$	$((\forall E((\{E\} \subseteq A) \rightarrow (\neg(\{E\} \subseteq O)))) \wedge (\neg(\{A\} = \{O\})))$

или первое примыкает к объединению первого и второго, второе прикнуто к объединению первого и второго, а первое вне второго (10).

$$(R_p(E, A) \vee ((IFW(E, (E \cup A)) \wedge IBW(A, (E \cup A))) \wedge R_O(E, A))). (10)$$

Любое событие E или явление ранее (BFR) события или явления A , если и только если первое прежде второго или первое раньше второго или неверно, что любое событие, которое после первого, не ранее второго (11).

$$((R_p(E, A) \vee R_B(E, A)) \vee (\neg(\forall O(R_p(E, O) \rightarrow (\neg BFR(O, A)))))). (11)$$

Основными отношениям, которые рассматривает онтологическая модель являются: (непосредственно) "прежде" (R_p), (непосредственно) "после" (R_N), "раньше" (R_B), "позже" (R_A), "с" (R_S), "по" (R_T), "от" (R_F), "до" (R_U), "когда" (R_H), "тогда" (R_E), "в течение" (R_W), "во время" (R_D), "на протяжении" (R_V), "в" (R_I), "вне" (R_O), R_X – "не определено". Пример их использования приведен на рисунке 2.

Любое событие или явление (непосредственно) прежде (R_p) события или явления, если и только если первое непосредственно перед вторым (см. табл. 2).

В соответствии с определениями отношений (см. табл. 2) при условии конечности исходных структур реализуются соответствующие алгоритмы (рис. 3 и рис. 4).

Заключение. Понятия, введённые в предложенной онтологической модели, предназначены и применяются для описания процессов обработки знаний в базах знаний, использующих средства модели унифицированного семантического представления знаний в сочетании с такими моделями, механизмами и методами их обработки, как продукции, процедуры и нейронные сети с целью семантического протоколирования для объяснения результатов процессов обработки знаний.

СПИСОК ЦИТИРОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

- McDermott, D. Mind and Mechanism. Cambridge (Mass), MIT Press. – 2001. – xv + 262 p.
- Ивашенко, В. П. Онтологическое моделирование причинно-следственных связей на основе событий / В. П. Ивашенко // Ин-

- 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.