

Л.В. Аршинский¹, М.С. Нитежук¹

¹ *Иркутский государственный университет путей сообщения, г. Иркутск, Российская Федерация*

ВЛИЯНИЕ АНОМАЛЬНЫХ ЗНАЧЕНИЙ ИСТИННОСТИ ПОСЫЛОК НА ПРОЦЕДУРУ ЛОГИЧЕСКОГО ВЫВОДА ПРИ ИНТЕРВАЛЬНОМ ПРЕДСТАВЛЕНИИ ВЕКТОРА ИСТИННОСТИ В V^{TF} -ЛОГИКАХ

Аннотация. В работе изучено влияние интервального представления истинности на процедуру динамической верификации продукционных баз знаний (БЗ) экспертных систем (ЭС) при использовании логик с векторной семантикой в форме V^{TF} -логик. Показано, что как и в «точечном» случае, для интервального представления вектора истинности сохраняются и передаются по цепочке вывода аномальные значения истинности, порождённые артефактами типа строгая ложь, неопределённость, полное противоречие. Это позволяет выявлять соответствующие артефакты БЗ используя прямой вывод: аномальные значения передаются от посылок к следствиям и проявляются в заключительной гипотезе. При обнаружении таких гипотез обратной трассировкой вывода можно установить и ликвидировать источник аномалии. Положительной стороной такого подхода является использование для верификации штатных средств ЭС – решателя и объяснительного компонента. Никаких дополнительных компонентов, кроме имитатора ответов пользователя, не требуется.

Ключевые слова: база знаний, экспертная система, верификация, логики с векторной семантикой.

L.V. Arshinskiy¹, M.S. Nitezjuk¹

¹ *Irkutsk State Transport University, Irkutsk, Russian Federation*

INFLUENCE OF PREMISES TRUTH VALUES ANOMALOUS ON THE LOGICAL INFERENCE PROCEDURE FOR INTERVAL REPRESENTATION OF THE TRUTH VECTOR IN V^{TF} -LOGICS

Abstract. In the paper first considered of the influence of interval representation of truthfulness on the procedure of dynamic verification of rule-based knowledge bases (KB) of expert systems (ES) when using logic with vector semantics. It is shown that for the interval representation of the truth vector, abnormal values of the truth of the premises are stored and transmitted along the output chain: strict lie, uncertainty, and complete contradiction. It is shown that, as in the "point" case, for the interval representation of the truth vector, anomalous truth-values generated by artifacts such as strict lie, uncertainty, and complete contradiction are stored and transmitted along the inference chain. If such hypotheses are detected, the output backtracking can identify and eliminate the source of the anomaly. The positive side of this approach is the use of the ES solver and the explanatory component for verification. No additional components are required other than the user answers simulator.

Keywords: knowledge base, expert system, verification, logic with vector semantics.

Введение. Исследования по верификации БЗ систем, основанных на знаниях, известны достаточно давно (см. напр. [1, 2]). В [1] отмечается, что одни из первых результатов были представлены в [3]. Причём в [1], а также [4] подчёркивается важность этой проблемы. Уже на ранних этапах сложился терминологический аппарат и сформулированы основные требования к качеству БЗ. Это в первую очередь полнота (способность работать во всех допустимых входных ситуациях) и отсутствие противоречий в ходе вывода [5-7]. Ряд известных на тот момент систем и методов верификации рассмотрен в [8]. Здесь же отмечается, что не существует универсального подхода к верификации. Более-менее полноценной она становится, когда эти методы применяются в комплексе, или методы верификации применяются для отдельных предметных областей. Сходное мнение высказано в [9, 10]. Это делает, в частности, актуальными работы по верификации предметных БЗ (см. напр. [11]). Тем не менее, в [10] предлагается подход, основанный на расширенных таблицах решений и раскрашенных сетях Петри, который согласно автору применим для широкого круга верификационных задач.

Для работы с аномалиями БЗ различными специалистами генерируются соответствующие метазнания [10], тесты [8, 12], предлагается использовать подходы, аналогичные доказа-

тельству правильности компьютерных программ, разрабатываются языки спецификаций и прочее [13, 14, 15]. В [16-20] развиваются подходы, основанные на онтологиях. Как правило, при этом рассматриваются БЗ продукционного типа. Причём характерной чертой едва ли не всех рассматриваемых методов является необходимость дополнения ЭС серьёзными верифицирующими комплексами, не являющимися при этом частью классической архитектуры ЭС (БЗ, машина вывода, подсистема объяснений и т.п.).

Короткий обзор современного состояния дел в этой области сделан в [49] одним из авторов этой статьи.

В работах [1-4] авторы предложили ещё один подход к верификации продукционных БЗ ЭС, основанный на логиках с векторной семантикой. Точнее, одном классе таких логик, в котором истинность представлена вектором с компонентами $\langle \text{Истина}; \text{Ложь} \rangle$ (т.н. V^{TF} -логики). С точки зрения авторов этот подход может быть реализован без существенного вмешательства в архитектуру ЭС и на основе её штатных архитектурных элементов при условии векторного представления истинности единиц знаний.

Основное внимание в работах было уделено динамической верификации, которая позволяет установить артефакты, проявляющиеся только в ходе логического вывода. В качестве аномальных значений истинности рассматривались строгая ложь – вектор $\langle 0;1 \rangle$, неопределённость – вектор $\langle 0;0 \rangle$, полное противоречие – вектор $\langle 1;1 \rangle$. Первый случай становится аномалией, когда любые допустимые комбинации входных посылок порождают только ложные заключения, второй связан с отсутствием необходимых сведений, третий – с появлением в ходе вывода противоречий.

В ходе исследования были установлены два факта:

- 1) аномальные значения истинности посылок порождают аномальные же значения истинности заключения и характер аномалии сохраняются (воспроизводятся) по всему выводу;
- 2) истинность заключения как правило носит интервальный характер.

В работах [1-4] молчаливо предполагалось, что интервальное выходное значение истинности на каждом шаге вывода переводится в «точечное», например в виде центра соответствующего прямоугольника $\langle [a^+_1, a^+_2]; [a^-_1, a^-_2] \rangle$, где a^+_1, a^+_2 , соответственно, нижняя и верхняя границы интервала значений позитивного (Истина), а a^-_1, a^-_2 – негативного (Ложь) компонента вектора истинности. Это достаточно распространённый приём, однако остался открытым вопрос: Как повлияет интервальность на процедуру вывода в условиях аномалий, если её сохранить, не переходя каждый раз к «точечному» представлению?

Механизм работы с интервальными значениями истинности в V^{TF} -логиках предложен достаточно давно [5]. Однако нигде не рассматривалось как он функционирует при аномальных значениях вектора $\langle \text{Истина}; \text{Ложь} \rangle$, что существенно для верификации. Разбирая этот вопрос, сохраним порядок рассмотрения аномалий как в [3, 4]: строгая ложь, неопределённость противоречие. При этом точно также считаем большую посылку – импликацию строго истинной (соответствующий вектор $\langle 1;0 \rangle$). Вполне приемлемое допущение, если учесть, что разработчики БЗ вряд ли будут вводить в неё правила, не претендующие на истинность или близость к истинности.

Вывод при строго ложной малой посылке. Предположим, что на каком-то шаге вывода появилась строго ложная посылка. В работах [3] и [4] показано, что в этом случае на первом же шаге областью истинности заключения становится квадрат $[0,1] \times [0,1]$. Выясним, как это сказывается на последующих шагах.

В [5] показано, что если истинность малой посылки равна:

$$\|a\| = \|a\|_1 \div \|a\|_2 = \langle a^+_1; a^-_1 \rangle \div \langle a^+_2; a^-_2 \rangle = \langle [a^+_1, a^+_2], [a^-_2, a^-_1] \rangle,$$

а истинность большой:

$$\|i\| = \|i\|_1 \div \|i\|_2 = \langle i^+_1; i^-_1 \rangle \div \langle i^+_2; i^-_2 \rangle = \langle [i^+_1, i^+_2], [i^-_2, i^-_1] \rangle,$$

то истинность заключения $\|b\|$, равна:

$$\begin{aligned} \|b\| &= \langle a^+_1 \bullet i^+_1; a^-_1 \oplus i^-_1 \rangle \div \langle a^-_1 \oplus i^+_2; a^+_1 \bullet i^-_2 \rangle = \\ &= \langle [a^+_1 \bullet i^+_1, a^-_1 \oplus i^+_2]; [a^+_1 \bullet i^-_2, a^-_1 \oplus i^-_1] \rangle, \end{aligned}$$

или

$$\|b\| \in \mathbf{B} = [a^+ \bullet i^+, a^- \oplus i^+] \times [a^+ \bullet i^-, a^- \oplus i^-].$$

Здесь \bullet и \oplus - триангулированная (треугольная) норма и к-норма с дополнительной аксиомой:

$$(1-x)\bullet(1-y) = 1-x\oplus y;$$

или, что аналогично,

$$(1-x)\oplus(1-y) = 1-x\bullet y;$$

[6].

То есть можно записать:

$$a, a \rightarrow b \vdash b : \|b\| = \langle a^+ \bullet i^+; a^- \oplus i^- \rangle \div \langle a^- \oplus i^+; a^+ \bullet i^- \rangle = \langle [a^+ \bullet i^+, a^- \oplus i^+]; [a^+ \bullet i^-, a^- \oplus i^-] \rangle. \quad (1)$$

Подставляем значение $\|a\| = \langle 0; 0 \rangle \div \langle 1; 0 \rangle$ в (1). Импликацию полагаем строго истинной: $\|i\| = \langle 1; 0 \rangle \div \langle 1; 0 \rangle$. Тогда $a^+ = 0, a^- = 1, a^+ = 1, a^- = 0, i^+ = 1, i^- = 0, i^+ = 1, i^- = 0$. В результате имеем:

$$\|b\| = \langle a^+ \bullet i^+; a^- \oplus i^- \rangle \div \langle a^- \oplus i^+; a^+ \bullet i^- \rangle = \langle [a^+ \bullet i^+, a^- \oplus i^+]; [a^+ \bullet i^-, a^- \oplus i^-] \rangle = \langle [0 \bullet 1, 1 \oplus 1]; [0 \bullet 0, 1 \oplus 0] \rangle = \langle [0, 1]; [0, 1] \rangle.$$

То есть истинность заключения принадлежит такому же квадрату $[0, 1] \times [0, 1]$. Поскольку мы объявляли истинность antecedента принадлежащей области $[0, 1] \times [0, 1]$ и эта же область получилась для консеквента, то на третьем шаге и всех последующих шагах она будет воспроизведена также.

Введём меру точности суждения b по формуле:

$$\mu_{\text{точ}}(b) = 1 - \sqrt{\frac{(b_2^+ - b_1^+)^2 + (b_2^- - b_1^-)^2}{2}}$$

(точность равна единице для точечных значений вектора $\|b\|$ и нулю, когда $\|b\| \in [0, 1] \times [0, 1]$; здесь $\|b\| = \langle [b^+, b^+]; [b^-, b^-] \rangle$). Тогда получается, что нулевая точность заключения, когда истинность консеквента b оказывается «где угодно» в квадрате $[0, 1] \times [0, 1]$, воспроизводится на всех шагах вывода, начиная со второго. И это сохраняется до терминального факта – гипотезы, сигнализируя об артефакте – ложности малой посылки на каком-то из шагов вывода.

Таким образом, появление аномалии типа *строгая ложность малой посылки* в ходе вывода с интервальными значениями истинности приводит к аномальному значению истинности заключения – нулевой точности, что является сигналом о наличии соответствующего артефакта.

Вывод при неопределённой малой посылке. Разберём случай неопределённости какого-либо факта, когда его вектор истинности имеет значение $\langle 0; 0 \rangle$. Как следует из (1), в этом случае малая посылка для следующего шага вывода принимает интервальное значение:

$$\|a\| = \langle 0 \bullet i^+; 0 \oplus i^- \rangle \div \langle 0 \oplus i^+; 0 \bullet i^- \rangle = \langle 0; i^- \rangle \div \langle i^+; 0 \rangle.$$

Так как все импликации объявлены строго истинными, это даёт:

$$\|a\| = \langle 0 \bullet 1; 0 \oplus 0 \rangle \div \langle 0 \oplus 1; 0 \bullet 0 \rangle = \langle 0; 0 \rangle \div \langle 1; 0 \rangle.$$

То есть, $a^+ = 0, a^- = 0, a^+ = 1, a^- = 0$. Поскольку a – посылка для второго шага, то по-прежнему полагая $i^+ = 1, i^- = 0, i^+ = 1, i^- = 0$, для заключения b находим (рис 1):

$$\|b\| = \langle a^+ \bullet i^+; a^- \oplus i^- \rangle \div \langle a^- \oplus i^+; a^+ \bullet i^- \rangle = \langle [a^+ \bullet i^+, a^- \oplus i^+]; [a^+ \bullet i^-, a^- \oplus i^-] \rangle = \langle [0 \bullet 1, 0 \oplus 1]; [0 \bullet 0, 0 \oplus 0] \rangle = \langle [0, 1]; [0, 0] \rangle. \quad (2)$$

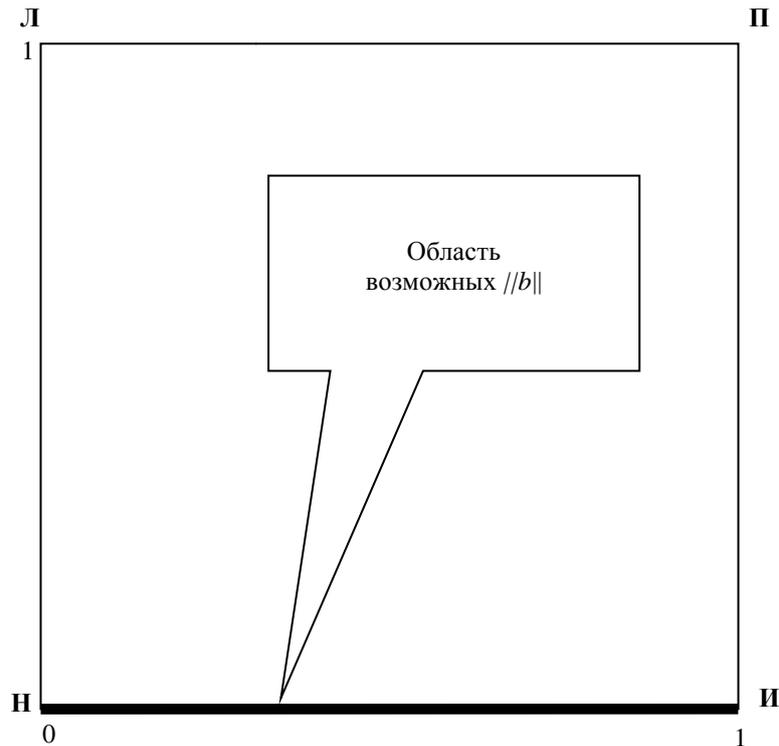


Рис. 1. Область возможных значений истинности заключения b согласно (2).
Здесь Л, И, Н, П – значения вектора истинности «строгая ложь» $\langle 0;1 \rangle$,
«строгая истина» $\langle 1;0 \rangle$, неопределённость $\langle 0;0 \rangle$, полное противоречие $\langle 1;1 \rangle$

Истинность заключение вновь попадает в диапазон $\langle 0;0 \rangle \div \langle 1;0 \rangle$ (или $\langle [0,1]; [0,0] \rangle$ в интервальном представлении). Очевидно, что все последующие шаги дадут тот же самый результат.

Таким образом, появление аномалии типа *неопределённость малой посылки* на старте или в ходе вывода при интервальных значениях истинности приводит к воспроизводящемуся по цепочке аномальному значению истинности $\langle [0,1]; [0,0] \rangle$, что является сигналом о наличии соответствующего артефакта.

Вывод при полностью противоречивой малой посылке. Наконец рассмотрим случай полного противоречия, когда стартовая или промежуточная посылка принимает значение истинности $\|a\| = \langle 1;1 \rangle$. Как показано в [3, 4], в этом случае при строгой истинности большой посылки, соответствующий шаг вывода порождает истинность заключения $\|b\| = \langle 1;1 \rangle \div \langle 1;0 \rangle = \langle [1,1]; [0,1] \rangle$. Соответственно, при попадании b на вход следующей продукции (малую посылку всегда обозначаем буквой a : $a^+_1 = 1, a^-_1 = 1, a^+_2 = 1, a^-_2 = 0$) имеем (рис. 2):

$$\begin{aligned} \|b\| &= \langle a^+_1 \bullet i^+_1; a^-_1 \oplus i^-_1 \rangle \div \langle a^-_1 \oplus i^+_2; a^+_1 \bullet i^-_2 \rangle = \langle [a^+_1 \bullet i^+_1, a^-_1 \oplus i^+_2]; [a^+_1 \bullet i^-_2, a^-_1 \oplus i^-_1] \rangle = \\ &= \langle [1 \bullet 1, 1 \oplus 1]; [1 \bullet 0, 1 \oplus 0] \rangle = \langle [1,1]; [0,1] \rangle. \end{aligned} \quad (3)$$

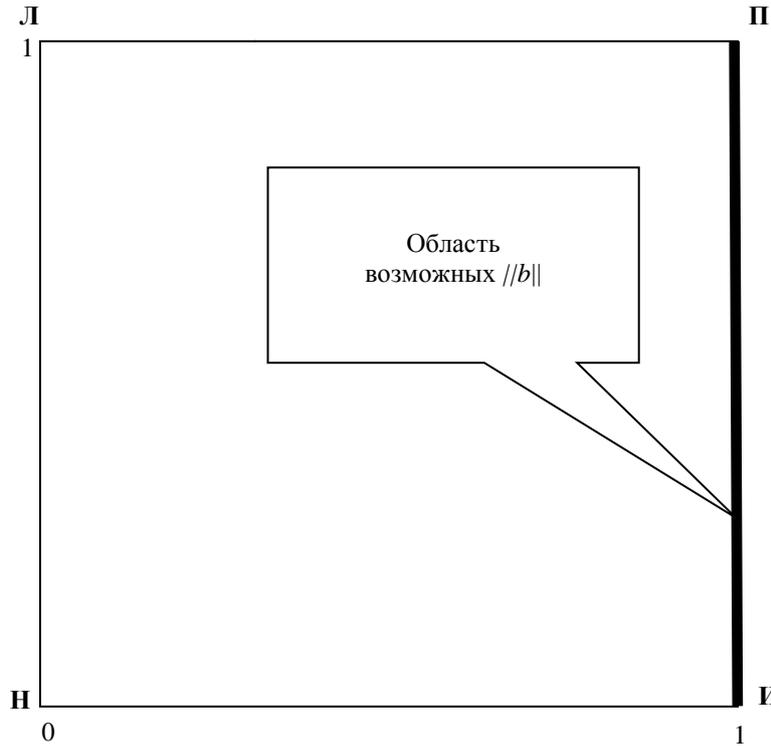


Рис. 2. Область возможных значений истинности заключения b согласно (3)

То есть истинность антецедента $\langle [1,1];[0,1] \rangle$ приводит к истинности консеквента также $\langle [1,1];[0,1] \rangle$. Как и в случае с неопределённостью, это означает, что полное противоречие порождает цепочку одних и тех же значений истинности $\langle [1,1];[0,1] \rangle$. Аномалия вновь воспроизводит аномалию того же типа!

Вывод – появление аномалии типа *полное противоречие малой посылки* на старте или в ходе вывода при интервальных значениях истинности приводит к воспроизводящемуся по цепочке аномальному значению истинности $\langle [1,1];[0,1] \rangle$, что является сигналом о наличии соответствующего артефакта.

Заключение. Проведённое исследование показало, что при интервальном представлении истинности:

1. Аномальное значение истинности «строгая ложь» $\langle 0;1 \rangle$ порождает цепочку аномалий в виде принадлежности вектора истинности заключения квадрату $[0,1] \times [0,1]$. И эта аномалия сохраняется по всему выводу.
2. Аномальное значение истинности «неопределённость» $\langle 0;0 \rangle$ порождает цепочку аномалий в виде принадлежности вектора истинности горизонтальному «отрезку» $[0,1] \times [0,0]$. И эта аномалия также сохраняется по всему выводу.
3. Наконец, аномальное значение истинности «полное противоречие» $\langle 1;1 \rangle$ порождает цепочку аномалий в виде принадлежности вектора истинности вертикальному «отрезку» $[1,1] \times [0,1]$. И эта аномалия сохраняется по всему выводу.

В целом можно заключить, что несмотря на переход от точечного к интервальному представлению истинности общий принцип влияния рассмотренных артефактов – порождение соответствующих аномалий истинности заключения и передачи этих аномалий по всей цепи вывода в гипотезу сохраняется. Это позволяет сохранить рассматриваемый в [1-4] приём выявления артефактов, заключающийся в:

- 1) генерировании допустимых значений истинности (комбинаций значений) входных посылок (вопрос минимизации числа таких комбинаций затронут в [4]).
- 2) выполнении прямого вывода для таких комбинаций;
- 3) контроле истинности заключения (гипотезы);

- 4) обратной трассировке цепочки вывода и выявлении причины аномалии, если она появилась.

Причём эта процедура выполняется, фактически, с использованием только штатных средств ЭС: машины вывода и объяснительного компонента. Дополнительным элементом служит только имитатор ответов пользователя, формирующий допустимые комбинации истинности входных посылок. Однако он довольно прост алгоритмически и практически не усложняет систему.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Nguyen, T.A. et al. Knowledge Base Verification // *AI Magazine*. 1987. V. 8. № 2. pp. 69-75.
2. Vermesan A.A. and Coenen F. (eds.) *Validation and Verification of Knowledge Based System*. Springer Science + Business Media, NY, 1999. DOI: 10/1007/978-1-4757-6916-6.
3. Davis R. *Applications of Meta Level Knowledge to the Construction, Maintenance, and Use of Large Knowledge Bases*. Dept of Computer Science, Stanford Univ., 1976. 291 p. STAN-CS-76-552a
4. Hamilton, D. State-of-the-practice in knowledge-based system verification and validation / D. Hamilton, K. Kelley, C. Culbert // *Expert Systems with Applications*. 1991. 3, pp. 403-410.
5. Benbasat, I. A framework for the validation of knowledge acquisition / I Benbasat, J. S. Dhaliwal, // *Knowledge Acquisition*, 1989. 1, pp. 215-233
6. Laurent, J-P. Proposals for a valid terminology in KBS validation. In B. Neuman, Ed. // *Proceedings of the 10th European Conference on Artificial Intelligence (ECAI-92)*, 1992. pp. 829-834.
7. Preece A.D., Shinghal R., Batarekh A. Verifying expert systems: a logical framework and a practical tool // *Expert systems with applications*. 1992. Vol. 5. pp. 421-436.
8. Preece A.D. Evaluation of Verification Tools for Knowledge-Based Systems / A.D Preece, S. Talbot, L. Vignollet // *Int. J. Hum.-Comput. Stud*. 1997. V. 47. pp. 629-658.
9. Логунова, Е.А. Обзор подходов к разрешению недостатков продукционной базы знаний системы логического вывода / Е.А. Логунова // *Современные наукоемкие технологии*. 2015. № 9. С. 46-48.
10. Смирнов, В.В. Методы и средства верификации баз знаний в интегрированных экспертных системах: дис. ... канд. техн. наук: 05.13.11, Москва, 2006. 180 с.
11. Racunas, S.A. A case study in pathway knowledgebase verification / S.A. Racunas, N.H. Shan, N.V. Fedoroff // *BMC Bioinformatic*. 2006, 7: 196. Published online 2006 Apr 8. DOI: 10.1186/1471-2105-7-196.
12. Bindilatti, A. de A. Verification and validation of knowledge bases using test cases generated by restriction rules / A. de A. Bindilatti, A.E.A da Silva // *International Journal of Artificial Intelligence and Expert Systems (IJAE)*. 2012. V. 3. Issue 4. pp. 117-125
13. Бобина, В.А. Верификация и подтверждение правильности (V&V) системы управления базой знаний с помощью формальных спецификаций / В.А. Бобина // *Международный научный журнал «Символ науки»*. 2015. №5. С.17-20.
14. Терновой, М.Ю. Формальная спецификация свойств баз нечетких знаний Мамдани на основе метаграфа / М.Ю. Терновой, Е.С. Штогрин // *Вісник Харківського національного університету імені В.Н. Каразіна. Серія «Мат. моделювання. Інформаційні технології. Автоматизовані системи управління»*, 2015. Вып. 27. С. 157-171
15. Antoniou, G. Verification and Validation of Knowledge-Based Systems. Report on Two 1997 Events / G. Antoniou, F. van Harmelen, R. Plant, J. Vanthienen // *AI Magazine: Workshop Report*. 1998. V.19. № 3. pp. 123-126.
16. Андреев А.М., Березкин Д.В., Симаков К.В. Особенности проектирования модели и онтологии предметной области для поиска противоречий в правовых электронных библиотеках. – <http://inteltec.ru/publish/articles/textan/RCDL2004.shtml>

17. Аршинский В.Л., Проскуряков Д.П. Применение онтологий и рассуждения по прецедентам для обработки контекста в событийном моделировании в исследованиях энергетики // *Современные технологии. Системный анализ. Моделирование*. 2016. № 4 (52). С. 94-100
18. Проскуряков Д.П. Поиск противоречий с помощью стратегии управления производствами на основе онтологии предметной области // *Труды XIX Байкальской Всероссийской конференции «Информационные и математические технологии в науке и управлении»*. Ч. III. Иркутск: ИСЭМ СО РАН, 2014. С. 166–170
19. Проскуряков Д.П. Управление разрешением конфликтов в производственных экспертных системах // *Вестник Иркутского государственного технического университета*. 2015. № 8. С. 47-51
20. Проскуряков Д.П. Интеграция онтологического моделирования и рассуждений по прецедентам для обработки контекста в исследованиях энергетической безопасности // *Вестник Иркутского государственного технического университета*. 2017. том 21 № 4(123). С. 90-99
21. Нитежук М.С. Верификация и поиск противоречий в базах знаний интеллектуальных систем [Электронный ресурс] // *Молодая наука Сибири: электрон. науч. журн*. 2018. №2. – Режим доступа: <http://mnv.irkgups.ru/toma/22-2018>, свободный. – Загл. с экрана. – Яз. рус., англ. (дата обращения: 20.09.2020).
22. Аршинский Л.В., Нитежук М.С., Шлаустас Р.Ю. Обнаружение противоречий в продукционной базе знаний средствами V^{TF} -логик // *Информационные и математические технологии в науке и управлении*. 2019. № 2 (14). С. 62-68. DOI: 10.25729/2413-0133-2019-2-06.
23. Аршинский Л.В., Нитежук М.С., Шлаустас Р.Ю. Выявление противоречий в продукционных базах знаний на основе логик с векторной семантикой // *Интегрированные модели и мягкие вычисления в искусственном интеллекте. Сборник научных трудов IX-й Международной научно-практической конференции (Коломна, 19-22 мая 2019 г.)*. – Переславль-Залесский: Российская ассоциация искусственного интеллекта, 2019. С. 114-120.
24. Аршинский Л.В., Ермаков А.А., Нитежук М.С. Логика с векторной семантикой как средство верификации баз знаний // *Онтология проектирования*. 2019. Т. 9, №4 (34). С.510-521. DOI: 10.18287/2223-9537-2019-9-4-510-521.
25. Аршинский Л.В., Ермаков А.А., Нитежук М.С. Комплексная верификация продукционных баз знаний с использованием V^{TF} -логик // *Онтология проектирования*. 2020. Т. 10, №1. С.112-120. DOI: 10.18287/2223-9537-2020-10-1-112-120.
26. Аршинский Л.В. Интервальное оценивание истинности в системах автоматизированных рассуждений на основе V^{TF} -логик // *Труды IV международной конференции «Идентификация систем и задачи управления». SICPRO'05. Москва 25-28 января 2005» [Электронный ресурс]*. Москва: ИПУ РАН им. В.А. Трапезникова, 2005. 1 электрон. опт. диск (CD-ROM). С. 1061-1074
27. Аршинский Л.В. Методы обработки нестрогих высказываний. Иркутск: изд-во ВСИ МВД РФ, 1998. 40 с.

REFERENCES

1. Nguyen, T.A. et al. Knowledge Base Verification // *AI Magazine*. 1987. V. 8. № 2. pp. 69-75.
2. Vermesan A.A. and Coenen F. (eds.) *Validation and Verification of Knowledge Based System*. Springer Science + Business Media, NY, 1999. DOI: 10/1007/978-1-4757-6916-6.
3. Davis R. *Applications of Meta Level Knowledge to the Construction, Maintenance, and Use of Large Knowledge Bases*. Dept of Computer Science, Stanford Univ., 1976. 291 p. STAN-CS-76-552a
4. Hamilton, D. State-of-the-practice in knowledge-based system verification and validation / D. Hamilton, K. Kelley, C. Culbert // *Expert Systems with Applications*. 1991. 3, pp. 403-410.
5. Benbasat, I. A framework for the validation of knowledge acquisition / I Benbasat, J. S. Dhaliwal, // *Knowledge Acquisition*, 1989. 1, pp. 215-233

6. Laurent, J-P. Proposals for a valid terminology in KBS validation. In B. Neuman, Ed. // *Proceedings of the 10th European Conference on Artificial Intelligence (ECAI-92)*, 1992. pp. 829-834.
7. Preece A.D., Shinghal R., Batarekh A. Verifying expert systems: a logical framework and a practical tool // *Expert systems with applications*. 1992. Vol. 5. pp. 421-436.
8. Preece A.D. Evaluation of Verification Tools for Knowledge-Based Systems / A.D Preece, S. Talbot, L. Vignollet // *Int. J. Hum.-Comput. Stud.* 1997. V. 47. pp. 629-658.
9. Logunova, Ye.A. Obzor podkhodov k razresheniyu nedostatkov produktsionnoy bazy znaniy sistemy logicheskogo vyvoda [A review of approaches to resolving the shortcomings of the production base of knowledge of the logical inference system] / Ye.A. Logunova // *Sovremennyye naukoemykiye tekhnologii*. 2015. № 9. pp. 46-48. (in Russian)
10. Smirnov V.V. Metody i sredstva verifikatsii baz znaniy v integrirovannykh ekspertnykh sistemakh [Methods and tools for knowledge bases verifying in integrated expert systems] (thesis of the candidate of technical sciences, Moscow, 2006) (in Russian).
11. Racunas, S.A. A case study in pathway knowledgebase verification / S.A. Racunas, N.H. Shan, N.V. Fedoroff // *BMC Bioinformatic*. 2006, 7: 196. Published online 2006 Apr 8. DOI: 10.1186/1471-2105-7-196.
12. Bindilatti, A. de A. Verification and validation of knowledge bases using test cases generated by restriction rules / A. de A. Bindilatti, A.E.A da Silva // *International Journal of Artificial Intelligence and Expert Systems (IJAE)*. 2012. V. 3. Issue 4. pp. 117-125
13. Bobina V.A. Verifikatsiya i podtverzheniye pravilnosti (V&V) sistemy upravleniya bazoy znaniy s pomoshchyu formalnykh spetsifikatsiy [Verification and validation (V&V) of the knowledge base management system using formal specifications]// *Simvol nauki*. 2015. №5. C.17-20. (in Russian)/
14. Ternovoi M.Yu. Formalnaya spetsifikatsiya svoystv baz nechetkikh znaniy Mamdani na osnove metagrafa [Formal specification of properties of Mamdani fuzzy knowledge bases based on metagraph] // *Bulletin of V.N. Karazin Kharkiv National University, series «Mathematical modeling. Information technology. Automated control systems»*. 2015. Issue 27. pp. 157-171 (in Russian).
15. Antoniou, G. Verification and Validation of Knowledge-Based Systems. Report on Two 1997 Events / G. Antoniou, F. van Harmelen, R. Plant, J. Vanthienen // *AI Magazine: Workshop Report*. 1998. V.19. № 3. pp. 123-126.
16. Andreyev A.M., Berezkin D.V., Simakov K.V. Osobennosti proyektirovaniya modeli i ontologii predmetnoy oblasti dlya poiska protivorechij v pravovykh elektronnykh bibliotekakh [Design features of the domain model and ontology for searching for contradictions in legal electronic libraries]. – <http://inteltec.ru/publish/articles/textan/RCDL2004.shtml>. (in Russian).
17. Arshinskiy V.L., Proskuryakov D.P. Primeneniye ontologiy i rassuzhdeniya po pretsedentam dlya obrabotki konteksta v sobyitiynom modelirovanii v issledovaniyakh energetiki [Application of ontologies and precedent reasoning for context processing in event modeling in energy research] // *Sovremennyye tekhnologii. Sistemnyy analiz. Modelirovaniye*. 2016. № 4 (52). pp. 94–100. (in Russian).
18. Proskuryakov D.P. Poisk protivorechij s pomoshch'yu strategii upravleniya produkciyami na osnove ontologii predmetnoj oblasti [The search for contradictions with management strategy of the production rules on the basis of domain ontology]// *Trudy XIX Bajkal'skoj Vserossijskoj konferencii «Informatcionnye i matematicheskie tekhnologii v nauke i upravlenii»*. CH. III. Irkutsk: ISEHM SO RAN, 2014. S. 166–170.(in Russian).
19. Proskuryakov D.P. Upravleniye razresheniyem konfliktov v produktsionnykh ekspertnykh sistemakh [Conflict resolution managing in rule-based expert systems], *Vestnik of Irkutsk State Technical University*, 2015, №8. pp 47-51. (in Russian).
20. Proskuryakov D.P. Integratsiya ontologicheskogo modelirovaniya i rassuzhdeniy po pretsedentam dlya obrabotki konteksta v issledovaniyakh energeticheskoy bezopasnosti [Integration of ontological modeling and reasoning in the precedents for the processing of context in studies of en-

ergy security] // Vestnik Irkutskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta. 2017. vol. 21 N 4(123). pp. 90-99. (in Russian)/

21. Nitezhuik M.S. *Verifikaciya i poisk protivorechij v bazah znaniy intellektual'nykh sistem* [Verification and search of contradictions in knowledge bases of the intelligent systems]. *Molodaya nauka Sibiri: ehlektronnyj nauchnyj zhurnal* [Young science of Siberia: electronic scientific journal], 2018, no. 2. [Accessed 20/09/20] (in Russian).

22. Arshinskiy L.V., Nitezhuik M.S., Shlaustas R.Yu. Detection of contradictions in production knowledge base by means of V^{TF} -logic // Information and mathematical technologies in science and management. 2019. № 2 (14). С. 62-68. DOI: 10.25729/2413-0133-2019-2-06

23. Arshinskiy L.V., Nitezhuik M.S., Shlaustas R.Yu. Vyyavleniye protivorechij v produkcii bazakh znaniy na osnove logik s vektornoy semantikoy [Detection of contradictions in rule-based knowledge base by means of logic with vector semantic] // Integrirovannyye modeli i myagkiye vychisleniya v iskusstvennom intellekte. Sbornik nauchnykh trudov IX-y Mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii (Kolomna. 19-22 maya 2019 g.). – Pereslavl-Zalesskiy: Rossiyskaya assotsiatsiya iskusstvennogo intellekta. 2019. С. 114-120. (in Russian)

24. Arshinskiy L.V., Ermakov A.A., Nitezhuik M.S. Logic with vector semantic as a means of knowledge bases verification // Ontology of Designing. 2019. v. 9, №4 (34). pp. 510-521. DOI: 10.18287/2223-9537-2019-9-4-510-521.

25. Arshinskiy L.V., Ermakov A.A., Nitezhuik M.S. Complex verification of rule-based knowledge bases using V^{TF} -logic // Ontology of Designing. 2020. v. 10, №1. pp. 112-120. DOI: 10.18287/2223-9537-2020-10-1-112-120.

26. Arshinskiy L.V. Intervalnoye otsenivaniye istinnosti v sistemakh avtomatizirovannykh rassuzhdeniy na osnove V^{TF} -logic [Interval truth estimation in automated reasoning systems based on V^{TF} -logic] / L.V. Arshinskiy // Identifikatsiya sistem i zadachi upravleniya: Trudy IV mezhdunarodnoy konferentsii SICPRO'05 [Elektronnyy resurs]. Moskva: IPU RAN im. V.A. Trapeznikova. 2005. 1 elektron. opt. disk (CD-ROM). pp. 1061-1074.

27. Arshinskiy L.V. Metody obrabotki nestrogikh vyskazyvaniy [Methods of processing of non-strict proposition]. Irkutsk: East-Siberian Institute of MIA of Russia. 1998. 40 p. (in Russian).

Информация об авторах

Аршинский Леонид Вадимович – д. т. н., доцент, заведующий кафедрой «Информационные системы и защита информации», Иркутский государственный университет путей сообщения, г. Иркутск, e-mail: larsh@mail.ru.

Нитежук Марина Сергеевна – старший преподаватель кафедры «Информационные системы и защита информации», Иркутский государственный университет путей сообщения, г. Иркутск, e-mail: Nitezhuik_ms@irgups.ru.

Authors

Leonid Vadimovich Arshinskiy – Doctor of Technical Science, head of department “Information Systems and Information Security”, Irkutsk State Transport University, Irkutsk, e-mail: larsh@mail.ru.

Marina Sergeevna Nitezhuik – senior lecturer of department “Information Systems and Information Security”, Irkutsk State Transport University, Irkutsk, e-mail: Nitezhuik_ms@irgups.ru

Для цитирования

Аршинский Л.В., Нитежук М.С. Влияние аномальных значений истинности посылок на процедуру логического вывода при интервальном представлении вектора истинности в V^{TF} -логиках // Информационные технологии и математическое моделирование в управлении сложными системами: электрон. науч. журн. – 2020. – №3(8). – С. 61-70 – DOI: 10.26731/2658-3704.2020.3(8).61-70 – Режим доступа: <http://ismm-irgups.ru/toma/38-2020>, свободный. – Загл. с экрана. – Яз. рус., англ. (дата обращения: 01.11.2020).

For citations

Arshinskiy L.V., Nitezuk M.S. Influence of premises truth values anomalous on the logical inference procedure for interval representation of the truth vector in V^{TF} -logics // *Informacionnye tehnologii i matematicheskoe modelirovanie v upravlenii slozhnymi sistemami: ehlektronnyj nauchnyj zhurnal* [Information technology and mathematical modeling in the management of complex systems: electronic scientific journal], 2020. No. 3(8). P. 61-70. DOI: 10.26731/2658-3704.2020.3(8).61-70 [Accessed 01.11.2020].