

УДК 004.825

ОБНАРУЖЕНИЕ ПРОТИВОРЕЧИЙ В ПРОДУКЦИОННОЙ БАЗЕ ЗНАНИЙ СРЕДСТВАМИ V^{TF} -ЛОГИК

Аршинский Леонид Вадимович

Д.т.н., доцент, зав. кафедрой «Информационные системы и защита информации»,
e-mail: larsh@mail.ru

Нитежук Марина Сергеевна

Аспирант кафедры «Информационные системы и защита информации»,
e-mail: marino_@yandex.ru

Шлаустас Ромас Юргевич

К.ф.-м.н., доцент кафедры «Информационные системы и защита информации»,
e-mail: shlaustas@gmail.com

Иркутский государственный университет путей сообщения,
664074 г. Иркутск, ул. Чернышевского 15,

Аннотация. Работа посвящена обсуждению вопроса выявления противоречий в продукционных базах знаний (БЗ) на основе аппарата логик с векторной семантикой. Дается краткое освещение проблемы верификации знаний. Отмечается, что важной проблемой верификации является обнаружение внутренних противоречий, когда те или иные цепочки вывода порождают противоречивые заключения. Показано, что аппарат логик с векторной семантикой, в силу естественной способности работать с противоречивыми данными и знаниями, может помочь автоматизировать процедуру выявления внутренних противоречий в таких БЗ.

Ключевые слова: продукционная модель знаний, внутренние противоречия, выявление противоречий, логики с векторной семантикой.

Цитирование: 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

Введение. К основным сложностям, с которыми сталкиваются разработчики баз знаний (БЗ), относятся: противоречивость, неполнота, избыточность, наличие нигде не используемых терминов [11]. Это порождает такие проблемы, как невозможность получить достоверные заключения, наличие не определенных понятий и терминов, невозможность вывода в определенных ситуациях, присутствие не используемых фактов, правил, терминов, наличие понятий, совпадающих по смыслу с введенными ранее и т.д. В связи с этим важным этапом разработки БЗ является процесс верификации – доказательства того, что она не содержит перечисленных ошибок. Важнейшей частью верификации является проверка БЗ на непротиворечивость. Этот тип ошибки способен привести к проблемам логического вывода, а значит – к невозможности использования БЗ в качестве модели предметной области

Данный материал посвящен вопросам обнаружения противоречий в продукционных базах знаний. В силу простоты, модульности и гибкости продукционная модель – одна из самых распространенных в системах искусственного интеллекта. Основанные на продукциях

БЗ могут легко модифицироваться: расширяться, сужаться, редактироваться. Логический вывод на таких знаниях также достаточно прост и эффективен. Вместе с тем, простота изменения единиц знаний оборачивается необходимостью контролировать их совместную непротиворечивость, что не всегда легко. Это связано как с размерами реальных БЗ (сотни и тысячи правил), так и с отсутствием в ряде логик (в первую очередь – в классической) механизмов работы с противоречиями.

В статье обсуждаются вопросы автоматизации обнаружения противоречий в продукционных знаниях. В качестве основы алгоритмов обнаружения выступает аппарат логик с векторной семантикой из класса V^{TF} . Данные логики предназначены для работы с предметными областями, отличающимися высокой степенью неопределенности и противоречивости. Их достоинством является способность сохранять работоспособность при работе с такими знаниями. Это позволяет верифицировать БЗ в ходе специальным образом организованного логического вывода.

Проблема обнаружения противоречий. В работе [8] освещены проблемы верификации и обнаружения противоречий в БЗ интеллектуальных систем. В частности отмечается, что формирование БЗ сопряжено с обработкой различных источников, а результаты формализуются на основе моделей знаний (одной либо нескольких), среди которых основные: логическая, продукционная, сетевая и фреймовая [5] (остальные могут быть сведены к основным). В настоящее время дополнительно выделяют также знания, представленные с помощью искусственных нейронных сетей [12]. Однако подобные знания неявны, спрятаны в архитектуре и особенностях функционирования сети, а потому упор по-прежнему делается на первые четыре модели.

С точки зрения моделирования предметных областей, БЗ – это особый тип моделей. По сравнению с классическим математическим моделированием, при котором с нужной степенью точности отражены особенности существования самой предметной области (модели первого типа на рис. 1) [4], БЗ – это, как правило, двойное отражение: отражение того, как предметная область отражается внутренним миром эксперта (модели второго типа на рис. 1) [4]. Более того, на него дополнительно накладываются особенности восприятия этого отражения инженером знаний. То есть, БЗ – это весьма субъективная конструкция и объективность в ней зависит от квалификации эксперта и качества работы инженера знаний.

Справедливости ради заметим, что источником знаний могут выступать также специальным образом обработанные большие данные, хранящие результаты лабораторных испытаний, различных бизнес-процессов и т.п. Это повышает объективность знаниевых моделей, однако проблемы верификации не снимает.

Именно большая субъективность знаниевых моделей, как представляется, порождает такие особенности, как возможная недостоверность, неопределенность, нечеткость, неполнота и недоопределенность знаний. Например, в [7] отмечается, что в ходе общения инженера знаний с экспертами теряется до 76% информации, а в [14] приводятся сведения о том, что при внесении информации в БЗ доля ошибок составляет в среднем 15%. Все это порождает проблему качества БЗ.

В связи с этим важным этапом разработки БЗ является процесс верификации – доказательства того, что она не содержит перечисленных ошибок [16, 10]. Важнейшей частью верификации при этом является проверка БЗ на непротиворечивость. Этот тип

ошибки способен привести к проблемам логического вывода, а значит – к невозможности использования БЗ в качестве модели предметной области.

Противоречия в продукционных БЗ. Вопрос поиска и ликвидации противоречий в продукционных БЗ рассматривался различными авторами. В [8] отмечается, что интерес к этому обусловлен не только относительной простотой и распространенностью продукционной модели, но и тем, что, как показал Э. Пост, данная модель эквивалентна машине Тьюринга [15]. Иначе говоря, продукционная модель есть одна из форм универсальной алгоритмической модели и любая оперирующая символами формальная система может быть реализована с помощью продукций «Если ..., то ...» [6].

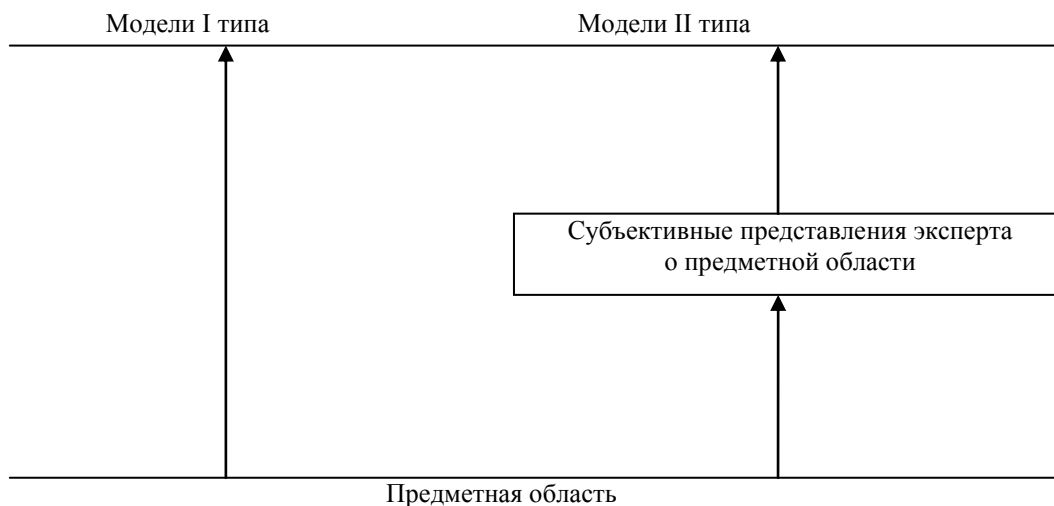


Рис. 1. Классическое математическое моделирование и моделирование на основе знаний

Противоречия в системах продукций могут быть следующими [9]:

- 1) наличие внутренне противоречивых правил, когда элементы продукций взаимно исключают друг друга, например, $a \rightarrow \neg a$;
- 2) наличие противоречий между двумя правилами, что при рассуждениях приводит к взаимоисключающим выводам, например, a и $\neg a$;
- 3) наличие внутренне противоречивых цепочек рассуждений, которые добавляют в систему факты, противоречащие исходным или ранее полученным;
- 4) противоречия в цепочках вывода, когда одни и те же исходные данные порождают взаимоисключающие утверждения.

Дополнительная сложность заключается в том, что суждение a в ситуациях a и $\neg a$ может внешне выглядеть по-разному [1, 10].

Источником противоречий могут выступать содержательные связи между фактами, а в некоторых предметных областях противоречивость может быть обусловлена несовместимостью взглядов на предметную область. Причём несовместимость эта проявляется не сразу, а с введением в систему каких-то новых фактов [6].

В связи с многообразием возможных ситуаций, в которых проявляется противоречивость, и сложностью ее обнаружения, в [6] говорится, что претендующая на доверие ЭС не должна содержать как минимум «внутренних» противоречий. Выявление и устранение внутренних противоречий следует считать первостепенной задачей верификации

знаний. Причем внутренние противоречия определяются текущим состоянием БЗ и могут быть выявлены формальными средствами.

В связи с вышесказанным важное значение приобретает проблема разработки формальных методов обнаружения противоречий в продукционных БЗ с целью их последующей реализации в соответствующих автоматизированных системах.

Обнаружение противоречий средствами V^{TF} -логики. V^{TF} -логики – класс логик с векторной семантикой, в которых вектор истинности произвольного суждения a имеет два компонента: $\langle \text{Истина}; \text{Ложь} \rangle$ [2]. Каждый компонент принимает значения из отрезка $[0, 1]$. При этом значение первого компонента определяются свидетельствами подтверждающими, а второго – опровергающими a . Вывод, использующий такую модель истинности, является присоединенным правдоподобным выводом. Его особенностью служит наличие процедуры объединения свидетельств, что необходимо, когда одно и то же заключение, например b , получено по разным цепочкам рассуждений. К примеру:

$$\begin{aligned} a, a \rightarrow b \vdash b: \|b\|_1 &= \langle b^+_1; b^-_1 \rangle \\ a', a' \rightarrow b \vdash b: \|b\|_2 &= \langle b^+_2; b^-_2 \rangle. \end{aligned}$$

Здесь через двоеточие указана истинность заключения $\|b\|$. Результирующее значение истинности вычисляется как $\|b\| = \langle U^+(b^+_1; b^+_2); U^-(b^-_1; b^-_2) \rangle$. Функции $U^+(b^+_1; b^+_2)$ и $U^-(b^-_1; b^-_2)$ могут иметь разный вид [3], но наиболее подходящим для наших целей является:

$$\|b\| = \langle b^+_1 \oplus b^+_2; b^-_1 \oplus b^-_2 \rangle. \quad (1)$$

Здесь \oplus – триангулированная (треугольная) ко-норма (в инфиксной записи) с дополнительным свойством:

$$(1 - x) \oplus (1 - y) = 1 - x \bullet y, \text{ где } x, y \in [0,1].$$

Символ « \bullet » обозначает соответствующую выбранной ко-норме треугольную норму (также в инфиксной записи). Примерами могут выступать известные функции $x \oplus y = \max(x, y)$, а так же $x \oplus y = x - y + xy$. Им соответствуют $x \bullet y = \min(x, y)$ и $x \bullet y = xy$.

Объединение свидетельств по формуле (1) хорошо тем, что противоречивость заключения b сразу отразится в ходе вывода вектором истинности $\|b\| = \langle b^+; b^- \rangle$, у которого $b^+, b^- > 0$. Например, если $\|b\| = \|b\|_1 = \langle 1, 0 \rangle$ и $\|b\| = \|b\|_2 = \langle 0, 1 \rangle$, то объединение согласно (1) даст итоговый вектор $\|b\| = \langle 1, 1 \rangle$ – полное противоречие.

Если суждение b – терминальное (гипотеза), то, возвращаясь по цепочке вывода назад, можно просмотреть все продукции, участвовавшие в выводе, и установить этап, на котором возникло противоречие. Также устанавливаются истинностные значения породивших его фактов.

Следует отметить, что, если противоречие появляется на промежуточном этапе вывода, оно продлится до терминального утверждения-гипотезы согласно первой форме содержательного *modus ponens* для логик с векторной семантикой [13]:

$$a, a \rightarrow b \vdash b: \|b\| = \langle a^+ \bullet i^+; a^- \oplus i^- \rangle.$$

Здесь i^+ и i^- – компоненты вектора истинности импликации $\|a \rightarrow b\| = \langle i^+; i^- \rangle$. В результате, контроль противоречивости того или иного заключения, а в целом и соответствующей БЗ, с использованием аппарата логик с векторной семантикой, состоит в выявлении противоречивых заключений-гипотез и восстановлении хода вывода от гипотезы к фактам.

Причем эта задача поддается автоматизации в силу естественной способности V^{TF} -логик обрабатывать противоречивые знания и данные.

Заключение. Поиск внутренних противоречий в БЗ продукционных систем – это в первую очередь обнаружение возможности противоречий в заключениях, полученных из системы продукций. Классические методы рассуждений не приспособлены для работы с противоречиями, что делает нетривиальной задачей их выявления в БЗ. Представляется, что предлагаемый в работе переход к аппарату логик с векторной семантикой поможет автоматизировать решение этой проблемы.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Аршинский В.Л., Проскураков 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.
2. Аршинский Л.В. Методы обработки нестрогих высказываний. Иркутск: Изд-во Восточно-Сибирского института МВД России. 1998. 40 с.
3. Аршинский Л.В. Особенности работы машины вывода системы моделирования правдоподобных рассуждений «Гераклит» // Информационные и математические технологии в науке и управлении. 2016. №2. С. 18–29.
4. Аршинский Л.В. Теоретические основы искусственного интеллекта: учебное пособие. Иркутск: ИрГУПС. 2016. 142 с.
5. Гаврилова Т.А., Хорошевский В.Ф. Базы знаний интеллектуальных систем. СПб: Питер. 2000. 384 с.
6. Долинина О.Н. Классификация ошибок в базах знаний экспертных систем // Вестник СГТУ. 2010. № 4 (50). Вып. 2. С. 125–130.
7. Макаренко С.И. Интеллектуальные информационные системы: учеб. пособие. Ставрополь: СФ МГТУ им М.А. Шолохова. 2009. 206 с.
8. Нитежук М.С. Верификация и поиск противоречий в базах знаний интеллектуальных систем // Молодая наука Сибири: электрон. науч. журн. 2018. №2. Режим доступа: <http://mnv.irgups.ru/toma/22-2018> (дата обращения: 27.03.2019)
9. Поспелова Л.Я., Чуканова О.В. Поиск противоречий в продукционных базах знаний. Режим доступа: <http://www.vmest.ru/nuda/poisk-protivorechij-v-produkcionnih-bazah-znanij/main.html> (дата обращения 25.04.2019)
10. Проскураков Д.П. Управление разрешением конфликтов в продукционных экспертных системах // Вестник Иркутского государственного технического университета. 2015. № 8. С. 47–51.
11. Рыбина Г.В. Основы построения интеллектуальных информационных систем: учеб. пособ. М.: Финансы и статистика. ИНФРА-М. 2010. 432 с.
12. Советов Б.Я., Цехановский В.В., Чертовский В.Д. Интеллектуальные системы и технологии: учебник для студ. учреждений высш. проф. образования. М.: Издательский центр «Академия». 2013. 320 с.
13. Arshinskii L.V. Substantial and formal deductions in logics with vector semantics // Automation and remote control. 2007. Vol. 68. No 1. Pp. 139–148.

14. Marcot B. Testing your knowledge base // AI Expert. August. 1987. Pp. 43–47.
 15. Post E.L. Formal Reductions of the General Combination Decision Problem // American Journal of Mathematics. 1943. V. 65. Pp. 197–215.
 16. 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.
-

UDK 004.825

**DETECTION OF CONTRADICTIONS IN PRODUCTION KNOWLEDGE BASE
BY MEANS OF V^{TF} -LOGIC**

Leonid V. Arshinskiy

Dr., Head of Department of Information Systems and Information Security,

e-mail: larsh@mail.ru

Marina S. Nitezuk

PhD student of Department of Information Systems and Information Security,

e-mail: marino_@yandex.ru

Romas Yu. Shlaustas

PhD., Associate Professor of Department of Information Systems and Information Security,

e-mail: shlaustas@gmail.com

Irkutsk State Transport University, 15, Chernyshevskiy Str., 664074, Irkutsk, Russia

Abstract. The work is devoted to the discussion of the issue of identifying contradictions in the production knowledge bases (KB) based on the apparatus of logic with vector semantics. A brief coverage of the problem of knowledge verification is made. It is noted that the important issue of verification is the detection of internal contradiction, when some chain of inference give rise to contradictory conclusions. It is shown that the apparatus of logic with vector semantics, due to the natural ability to work with conflicting data and knowledge, can help automate the procedure for identifying internal contradictions in such KB.

Keywords: production model of knowledge, internal contradictions, identification of contradictions, logic with vector semantics.

References

1. Arshinskiy V.L., Proskuryakov D.P. Primeneniye ontologiy i rassuzhdeniya po pretsedentam dlya obrabotki konteksta v sobyitiynom modelirovaniy v issledovaniyakh energetiki [Application of ontologies and precedent reasoning for context processing in event modeling in energy research] // *Sovremennyye tekhnologii. Sistemnyy analiz. Modelirovaniye = Modern technologies. System analysis. Modeling.* 2016. No 4 (52). Pp. 94–100. (in Russian)
2. 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)
3. Arshinskiy L.V. Osobennosti raboty mashiny vyvoda sistemy modelirovaniya pravdopodobnykh rassuzhdeniy «Geraklit» [Features of the work of logical inference machine of system plausible reasoning «Heraclitus»] // *Informatsionnyye i matematicheskiye tekhnologii*

- v nauke i upravlenii = Information and mathematical technologies in science and management. 2016. No 2. Pp.18–29. (in Russian)
4. Arshinskiy L.V. Teoreticheskiye osnovy iskusstvennogo intellekta: uchebnoye posobiye [Theoretical foundations of artificial intelligence: textbook]. Irkutsk: IrGUPS. 2016. 142 p. (in Russian)
 5. Gavrilova T.A., Khoroshevskiy V.F. Bazy znaniy intellektualnykh sistem [Knowledge Bases of the Intelligent Systems]. St. Petersburg. Piter. 2000. 384 p. (in Russian)
 6. Dolinina O.N. Klassifikatsiya oshibok v bazah znaniy ehkspertnykh sistem [Classification of errors in knowledge bases of expert systems] // Vestnik SGTU = Vestnik Saratov State Technical University. 2010. No 4 (50). issue 2. Pp. 125–130. (in Russian)
 7. Makarenko S.I. Intellektualnyye informatsionnyye sistemy: ucheb. posobiye. [Intelligent information systems: textbook]. Stavropol: SF MGTU im M.A. Sholokhova. 2009. 206 p. (in Russian)
 8. Nitezjuk M.S. Verifikatsiya 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 1. (in Russian)
 9. Pospelova L.Ya., Chukanova O.V. Poisk protivorechij v produktsionnykh bazakh zna-niy [The search for contradictions in the rule-based knowledge bases]. Available at: <http://www.vmest.ru/nuda/poisk-protivorechij-v-produkcionnih-bazah-znaniy/main.html>. (accessed 25.05.2019) (in Russian)
 10. Proskuryakov D.P. Upravleniye razresheniyem konfliktov v produktsionnykh ekspertnykh sistemakh [Managing conflict resolution in rule-based expert systems] // Vestnik Irkutskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta = Proceedings of Irkutsk State Technical University. 2015. No 8. Pp. 47–51. (in Russian)
 11. Rybina G.V. Osnovy postroyeniya intellektualnykh informatsionnykh sistem: ucheb. posob. [Fundamentals of building intelligent information systems: textbook] Moscow. Finansy i statistika = Publishing Finance and Statistics. INFRA-M. 2010. 432 p. (in Russian)
 12. Sovetov B.Ya., Tsekhanovskiy V.V., Chertovskiy V.D. Intellektualnyye sistemy i tekhnologii: uchebnyk dlya stud. uchrezhdeniy vysh. prof. obrazovaniya [Intelligent Systems: textbook for students of high professional schools]. Moscow. Izdatelskiy tsentr «Akademiya» = Publishing Center "Academy". 2013. 320 p. (in Russian)
 13. Arshinskii L.V. Substantial and formal deductions in logics with vector semantics // Automation and remote control. 2007. Vol. 68. No 1. Pp. 139–148.
 14. Marcot B. Testing your knowledge base // AI Expert. August. 1987. Pp. 43–47.
 15. Post E.L. Formal Reductions of the General Combination Decision Problem // American Journal of Mathematics. 1943. V. 65. Pp. 197–215.
 16. 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.