

Интеллектуальная поддержка принятия решений средствами динамической дескрипционной ЛОГИКИ

А. В. Чернов¹, М. А. Бутакова², О. О. Карташов, А. А. Александров
Ростовский государственный университет путей сообщения
¹a.v.chernov@ieee.org, ²butakova@rgups.ru

Аннотация. Предложены средства интеллектуальной поддержки принятия решений, использующие распределенную динамическую дескрипционную логику. Рассмотрены методы принятия решений в условиях неопределенности и слабоструктурированных входных данных. Рассмотрена интеллектуальная поддержка принятия решений в сложных вычислительных инфраструктурах. Определены форматы слабоструктурированных данных, подходящие для принятия решений. Дано формальное определение логики нового типа, называемой распределенной динамической дескрипционной логикой. Определена архитектура и общая схема предложенного подхода на основе ситуационных баз знаний со слиянием в распределенную ситуационную базу знаний. Система поддержки принятия решений имеет механизм вывода и правила эволюции и посредством сервиса планирования переключения контекста о запрашиваемой ситуации. Пользователи распределенной ситуационной базы знаний могут выполнить запросы о текущей ситуации их базы знаний. Для непосредственного принятия решений применяется интервальный аналог метода анализа иерархий.

Ключевые слова: интеллектуальная поддержка принятия решений; динамическая дескрипционная логика; распределенные базы знаний

I. ВВЕДЕНИЕ

Математический аппарат, используемый для поддержки принятия решений, можно считать достаточно развитым, как для классической теории принятия решений, так и для интеллектуальных методов поддержки принятия решений. В классическом понимании методы теории принятия решений основываются на следующих подходах [1]:

1) принятие решений в условиях определенности, рассматриваемое для конечного и бесконечного числа вариантов, объектов и критериев;

2) принятие решений в условиях противодействия сторон и особых предпочтений, таких как приоритеты и льготы;

3) принятие решений в условиях неопределенностей, которые могут быть выражены посредством вероятностей возникновения рисков, убытков, либо, напротив, прибыли и выигрышей.

Естественными математическими моделями в классическом принятии решений являются много объектные и многокритериальные задачи оптимизации. Так или иначе, обоснованием выбора альтернатив из множества решений является их полезность, а также эффективность достижения требуемого состояния системы, процесса посредством оценки некоторой целевой функции.

Если принимаются во внимание неопределенности разного рода, которым трудно сопоставить классические вероятности, включая неполные, неточные, размытые и противоречивые данные, то на принятие решений накладываются особые условия. В таких случаях обращаются к рациональным, а также интеллектуальным подходам поддержки принятия решений. Значительная часть теоретических исследований в области интеллектуальной поддержки принятия решений сосредоточена в обширной монографии [2]. На настоящее время к классическим подходам уже для интеллектуальных систем поддержки принятия решений относятся: экспертные системы; системы представления и добычи знаний; машины логического вывода знаний; системы принятия решений на основе искусственных нейронных сетей; системы принятия решений с использованием биоинспирированных методов; системы принятия решений, основанные на машинном обучении. Дальнейшее развитие перечисленных подходов и систем идет по пути сочетания и гибридизации методов искусственных интеллектуальных систем поддержки принятия решений [3], а также для целей разработки устойчивых гибридных интеллектуальных технологий [4].

Авторы ранее в своих работах также рассматривали интеллектуальную поддержку принятия решений в сложных вычислительных инфраструктурах. Например, в работе [5] был предложен подход к обнаружению инфраструктурных инцидентов на основе методов теории нечетких и грубых множеств. Далее в работе [6] этот подход был распространен на его использование в интеллектуальной системе управления железнодорожным

транспортом. В работе [7] были предложены средства интеллектуальной поддержки принятия решений об обнаружении аномалий в инфраструктуре систем автоматизированного управления железнодорожным транспортом на базе методов пространственной кластеризации данных о телекоммуникационном трафике. Общий метод представления знаний, используемый для принятия решений в области ситуационной осведомленности для инфраструктуры железнодорожного транспорта, был разработан в работе [8].

Целью доклада является развитие подходов к принятию решений в условиях поступления данных, имеющих недостаточно определенную структуру, используя механизмы логического вывода на основе дескрипционной логики, дополненной аксиомами действий. Такой подход в аксиоматическом виде ранее был сформулирован в работе [9]. Одной из отличительных черт рассматриваемого в докладе подхода является возможность интеллектуального принятия решений о возникновении новых типов ситуаций, анализируя при этом слабоструктурированные данные. Подходы к интеллектуальному анализу ситуаций были рассмотрены авторами в работе [10]. В данном докладе, на основе работ [9, 10] предлагается архитектура интеллектуальной системы поддержки принятия решений: использующая методы динамического распределенного вывода в дескрипционной логике, а также способ формирования и исполнения запросов о текущей ситуации к распределенной базе знаний.

II. ПРЕДВАРИТЕЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ

Слабоструктурированные данные в настоящее время составляют значительную часть информационного обмена в различных информационно-управляющих системах. В данном случае не являются исключением системы, составляющие вычислительную инфраструктуру железнодорожного транспорта. Авторы в работе [11] предложили многоуровневую модель данных для нечеткой и слабоструктурированной информации. В области практического и формализованного описания слабоструктурированной информации наибольшее использование имеют следующие форматы [10]: 1) XML (*eXtensible Markup Language*); 2) RDF (*Resource Description Framework*), 3) OWL (*Ontology Web Language*); 4) OEM (*Object Exchange Model*); 4) JSON (*JavaScript Object Notation*). Каждый из перечисленных форматов, предназначенных для описания слабоструктурированными данными, имеет свои преимущества и недостатки, а также область использования.

Дескриптивная логика [12] (*DL, Description Logic*) – это набор языковых конструкций представления знаний, позволяющий характеризовать понятия предметной области. *DL* оперирует понятиями концепта и роли. Под концептами C, D понимается набор определенных классов и понятий. Роль R в свою очередь выступает связью (отношением) между концептами и их свойствами. Основными конструкторами для построения концептов в рамках *DL* являются: 1) пересечение $C \cap D$; объединение

$C \cup D$; отрицание $\neg C$; ограничение квантором всеобщности $\forall R.C$; ограничение квантором существования $\exists R.C$.

База знаний *DL* строится на основе пары *TBox* и *ABox*. *TBox* (*terminological knowledge*) – терминологический набор аксиом. *ABox* (*assertional knowledge*) – набор утверждений об экземплярах понятий. Основным назначением *DL* при работе с онтологиями является поддержка языка запросов для логического вывода. В работе [9] *DL* была дополнена достаточно новым и оригинальным механизмом рассуждений с использованием распределенной динамической дескрипционной логики (*Distributed Dynamic Description Logic*), обозначенная как D^3L . Для этого дополнительно к имеющимся аксиомам *ABox* и *TBox* добавлены аксиомы, выражающие действия *Act* (*ACtions*), то есть динамические процессные сущности.

Действие в логике D^3L обозначается $Act(x_1, \dots, x_n)$, ограничение интерпретации обозначается через $Act(x_1, \dots, x_n) = \langle I_{ABox}, O_{ABox} \rangle$. I_{ABox} – это вход *ABox*, где ограничение интерпретации $\{I_{ABox_i}\}, i \in \mathbb{N}$, а соответственно O_{ABox} – это выход *ABox*, где ограничение интерпретации $\{O_{ABox_i}\}, i \in \mathbb{N}$. Таким образом, получается, что в динамическую интерпретацию \mathfrak{I} логики D^3L входит элементарное действие $\alpha = Act(x_1, \dots, x_n) = \langle I_{ABox}, O_{ABox} \rangle$, где $\alpha \in N_A$ – это название этого элементарного действия, (x_1, \dots, x_n) – переменные, идентифицирующие объекты, с которыми выполняются действия, I_{ABox} – конечное множество утверждений *ABox*, описывающее входные параметры действий, O_{ABox} – конечное множество утверждений *ABox*, описывающее выходные параметры действий.

III. ПРЕДЛАГАЕМЫЙ ПОДХОД

В этом разделе будет рассмотрен вариант использования разработанных в предыдущем разделе средств логики D^3L . Основное внимание уделяется разработке подхода к созданию распределенных сервисов анализа и планирования обработки данных о ситуациях на основе логики D^3L . Целесообразность разработки этого подхода вызвана следующими обстоятельствами. Реальные средства, реализующие идеологию интеллектуального анализа данных о ситуациях, должна иметь, по крайней мере следующие возможности [8]:

- функции создания и поддержания распределенных онтологий, описывающих ситуации различными наборами свойств, параметров и характеристик;
- функции поддержки распределенных баз знаний, формируемых соответственно выбранному набору онтологий;
- функции реализации правил эволюции онтологий распределенных баз знаний;

- функции, составляющие механизм распределенного логического вывода из баз знаний;
- функции монитора-планировщика переключения баз знаний в зависимости от контекста анализируемых ситуаций;
- функции обработчика запросов пользователей на анализ ситуаций, включая планирование обработки запросов и формирование отчетов о ситуациях.

Общая схема подхода к реализации интеллектуального принятия решений средствами D^3L представлена на рисунке 1.

Разнородные данные, поступающие из источников данных, преобразуются к общему формату представления. Возможные способы представления слабо структурированных данных рассматривались ранее в предыдущем разделе. Для разработанного подхода единым форматом представления данных был выбран формат *JSON*. На рисунке 1 СБЗ – это ситуационные базы знаний, которые описываются аналогично локальным базам знаний KB_i , средствами D^3L формально представляет собой четверку:

$$skb = \langle \text{Onto}, \text{Effects}, \text{Actions}, \text{Facts} \rangle,$$

где *Onto* – локальная онтология, построенная на *TBox* предметной области описания ситуаций; *Effects* – эффекты, имеющие смысл, аналогичный ситуационному исчислению; *Facts* – это факты *ABox*, включающие факты-характеристики *CFacts* и факты-предикаты *PFacts*; *Actions* – это действия *ACt*.

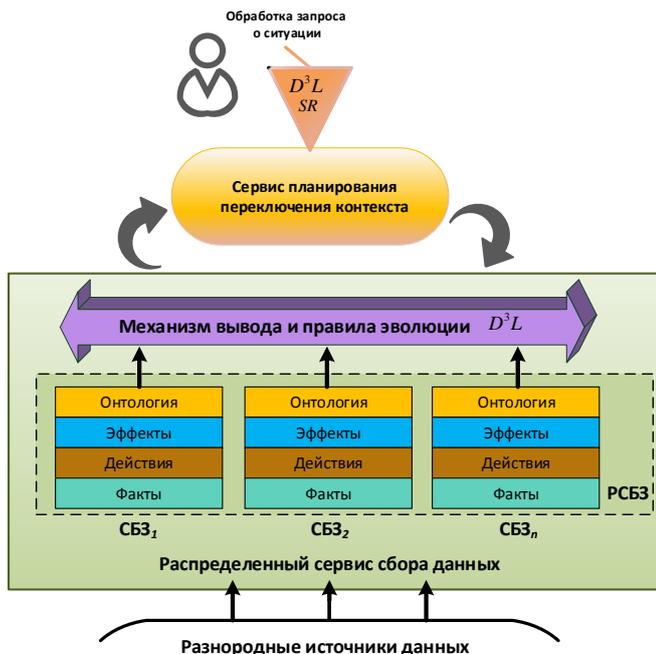


Рис. 1. Интеллектуальная поддержка принятия решений средствами D^3L

Распределенная ситуационная база знаний **PCBЗ** также описывается средствами D^3L , и таким образом формально представляет собой $dskb = \langle skb_i, ev_i \rangle, 1 \leq i \leq n$, то есть наборы СБЗ skb и правил их эволюции ev .

Пользователь формирует запрос к PCBЗ, который обрабатывается сервисом планирования переключения контекста. Запрос, выражаемый в формальном виде средствами D^3L описывается следующим образом.

Определение 1. (Запрос о ситуации)

Запрос $sr \in D^3LSR$ к PCBЗ средствами D^3L является четверкой

$$sr = \langle \text{Init}, \text{In}, \text{Out}, \text{State} \rangle, \quad (1)$$

где

Init – это часть *ABox*, включающая факты-предикаты, которые известны о ситуации, $\text{Init} \subseteq \bigcup_{\forall skb \in dskb} skb.PFacts$;

In – это часть *ABox*, включающая факты-характеристики, которые известны и сопутствуют ситуации, $\text{In} \subseteq \bigcup_{\forall skb \in dskb} skb.CFacts$;

Out – это множество параметров, характеризующих запрошенную ситуацию, включая идентификатор, тип, место, время возникновения ситуации и тому подобное;

State – это множество предикатов, описывающих извлеченные о ситуации знания, например предикаты, могут описывать некоторую спецификацию развития ситуации и тому подобное.

На основе (1) может быть сформирована последовательность запросов $\{sr_1, sr_2, \dots, sr_i, \dots, sr_n\}, 1 \leq i \leq n$ на основе которой можно описать контекст ситуации и запланировать обработку ситуации и процедуры принятия решения. Формальным образом средствами D^3L контекст ситуации описывается следующим образом.

Определение 2. (Контекст ситуации)

Формируя последовательность запросов $\{sr_1, sr_2, \dots, sr_i, \dots, sr_n\}, 1 \leq i \leq n$, $sr \in D^3LSR$ к PCBЗ $dskb = \langle skb_i, ev_i \rangle, 1 \leq i \leq n$ можно получить контекст ситуации

$$K_{sr_n} = \langle \text{Ds}, \text{Fs}, \text{As}, \text{Cs}, \text{MFD} \rangle$$

где

Ds – это домен онтологий $dskb$, ;

Fs – это домен фактов $dskb$, $Fs = \bigcup_{skb \in dskb} skb.Facts$;

As – это домен действий $dskb$, $As = \bigcup_{skb \in dskb} skb.ACt$;

C_s – это множество фактов, которые оказывают незначительное влияние на ситуацию и которыми можно пренебречь, $C_s \subseteq F_s$;

MFD – это отображение типа «многие-к-одному» $MFD: F_s \rightarrow D_s$, определяющее, какие факты влияют на изменение онтологии;

Заметим, что предложенный подход, в отличие от имеющихся подходов позволяет оперировать с изменяющимся во времени контекстом ситуаций. Используя данный подход можно отследить контекст ситуации на некотором временном интервале, а далее может быть сформулировано решение, например на основе широко известного метода анализа иерархий Т. Саати [13].

В связи с тем, что в метод анализа иерархий в своем начальном контексте должен оперировать вполне четкой информацией, за запрос контекста ситуации, выполненный по Определению 2, может давать некоторые интервальные значения о ситуациях, то в нашем случае применяется интервальный аналог метода анализа иерархий [14]. При этом используется три варианта интервалов принятия решений для достижения устойчивости решений.

IV. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В докладе предлагаются средства интеллектуальной поддержки принятия решений на базе разработанной авторами распределенной динамической дескрипционной логики. Преимуществом предложенного подхода является возможность сбора слабоструктурированных данных в формате *JSON* в распределенные СБЗ, затем в единую РСБЗ, поддерживающую онтологии, факты, действия и эффекты от различных действий по ситуациям. Система поддержки принятия решений имеет механизм вывода и правила эволюции D^3L . Посредством сервиса планирования переключения контекста о запрашиваемой ситуации пользователи РСБЗ могут выполнить запросы о текущей ситуации их базы знаний. Для непосредственного принятия решений применяется интервальный аналог метода анализа иерархий.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

[1] Торра В. Математика и выборы. Принятие решений. Пер. с исп. М.: Де Агостини, 2014. 160 с.

- [2] Turban E., Aronson J.E., Liang T.P. Decision Support Systems and Intelligent Systems, 7th Ed. Prentice-Hall, New Dehli, 2007. 938 p.
- [3] Hatzilygeroudis I., Palade V. (Eds.). Advances in Hybridization of Intelligent Methods. Models, Systems and Applications.: Smart Innovation Systems and Technologies. v. 85. Springer AG, 2018. 149 p.
- [4] Sangaiah A.K., Abraham A., Siarry P., Sheng M. (Eds.). Intelligent Decision Support Systems for Sustainable Computing: Paradigms and Applications. Studies in Computational Intelligence, v.705. Springer, 2017. 296 p.
- [5] Chernov A.V., Bogachev V.A., Karpenko E.V., Butakova M.A., Davidov Y.V. Rough and fuzzy sets approach for incident identification in railway infrastructure management system // Proceedings of 2016 19th IEEE International Conference on Soft Computing and Measurements, SCM 2016, pp. 228-230.
- [6] Chernov A.V., Kartashov O.O., Butakova M.A., Karpenko E.V. Incident data preprocessing in railway control systems using a rough-set-based approach // Proceedings of 2017 20th IEEE International Conference on Soft Computing and Measurements, SCM 2017, pp. 248-251.
- [7] Chernov A.V., Savvas I.K., Butakova M.A. Detection of point anomalies in railway intelligent control system using fast clustering techniques // Advances in Intelligent Systems and Computing, v. 875, 2019. pp. 267-276.
- [8] Butakova M.A., Chernov A.V., Guda A.N., Vereskun V.D., Kartashov O.O. Knowledge representation method for intelligent situation awareness system design // Advances in Intelligent Systems and Computing, 875, 2019. pp. 225-235.
- [9] Карташов О.О. Метод представления и извлечения знаний для построения интеллектуальных систем ситуационной осведомленности // Вестник Ростовского государственного университета путей сообщения, №2, 2018. С. 65-77.
- [10] Карташов О.О., Бутакова М.А., Чернов А.В., Костюков А.В., Жарков Ю.И. Средства представления знаний и извлечения данных для интеллектуального анализа ситуаций // Инженерный вестник Дона, №4, 2018.
URL: <http://ivdon.ru/ru/magazine/archive/n4y2018/5421>
- [11] Yants V.I.; Chernov A.V.; Butakova M.A.; Klimanskaya E.V.: Multilevel data storage model of fuzzy semi-structured data. In: Soft Computing and Measurements (SCM), 2015 XVIII International Conference, vol. 1, 2015., pp.112-114.
- [12] Baader F., Calvanese D., McGuinness D., Nardi D., and. Patel-Schneider P. F (Eds). The Description Logic Handbook: Theory, Implementation and Applications. CUP, 2003, 573p.
- [13] Саати Т. Принятие решений. Метод анализа иерархий. Пер с англ. М.: «Радио и связь», 1993. 278 с.
- [14] Byeong Seok Ahn. The analytic hierarchy process with interval preference statements // Omega, v. 67, 2017 pp. 177-185.