ИНФОРМАТИКА И ЕЁ ПРИМЕНЕНИЯ, 2019. Т. 13. Вып. 2. С. 76–82

ПРОТОКОЛ ГЕТЕРОГЕННОГО МЫШЛЕНИЯ ГИБРИДНОЙ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ МНОГОАГЕНТНОЙ СИСТЕМЫ ДЛЯ РЕШЕНИЯ ПРОБЛЕМЫ ВОССТАНОВЛЕНИЯ РАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНОЙ ЭЛЕКТРОСЕТИ*

А. В. Колесников[1], С. В. Листопад[2]

Аннотация: Для проблемы восстановления электроснабжения в региональной распределительной электросети после масштабных аварий характерны высокая комбинаторная сложность, неоднородность, недоопределенность, неточность и нечеткость. Применение механизма коллективного решения проблем для преодоления перечисленных НЕ-факторов невозможно из-за временных ограничений. Для решения проблемы предлагается новый класс интеллектуальных систем, моделирующих коллективное принятие решений под руководством фасилитатора — гибридные интеллектуальные многоагентные системы гетерогенного мышления (ГИМСГМ). В отличие от традиционных гибридных интеллектуальных систем, интегрирующих модели знаний экспертов, они дополнительно моделируют взаимодействие в групповых процессах и эффектах, адаптируясь к динамичным проблемным ситуациям послеаварийного восстановления региональной распределительной электросети. В работе рассматривается один из компонентов таких систем — протокол организации коллективного гетерогенного мышления агентов.

Ключевые слова: гетерогенное мышление; гибридная интеллектуальная многоагентная система; проблема восстановления распределительной электросети

DOI: 10.14357/19922264190211

1 Введение

При авариях в энергосистемах, происходящих несмотря на проводимые предупредительно-профилактические мероприятия, принимаются меры, снижающие их интенсивность и продолжительность. Сразу после масштабной аварии повышение частоты и развал энергосистемы тормозятся автоматически изменением и отключением нагрузки управляемым разделением. В течение последующих часов выполняются восстановительные мероприятия, в ходе которых операторы распределительной сети и электростанций вручную поддерживают баланс нагрузки и генерации. Длительность выработки решений и действий по их реализации намного превышает допустимые ограничения по оборудованию, и возникает опасность, что управление электростанциями и энергосистемой не может обеспечить необходимую координацию [1].

Одна из важнейших задач оперативно-диспетчерского персонала — составление плана обеспечения безопасности, сохранности оборудования и быстрого восстановления электроснабжения потребителей, не противоречащего требованиям энергосистемы [2].

При разработке плана оперируют большим разнообразием ресурсов, их свойств и отношений, а также учитывают НЕ-факторы А. С. Нариньяни [3]: недоопределенность места аварии на момент планирования; неточность величины мощности, потребляемой клиентами и генерируемой источниками распределенной генерации; нечеткость времени восстановительных операций; некорректность работы датчиков; неполнота модели электросети. В силу временны́х ограничений организовать всестороннее коллективное обсуждение послеаварийной проблемной ситуации невозможно.

Для информационной подготовки решений («предрешений», по П. К. Анохину) по восстановлению электроснабжения в распределительной электросети [4] предлагается разработать новый класс интеллектуальных систем — ГИМСГМ, комбинирующих гибридный подход А. В. Колесникова [5], аппарат многоагентных систем В. Б. Тарасова [6] и методики гетерогенного мышления [7–9]. Такие системы интегрируют знания и взаимодействие экспертов различных специальностей, учитывают несколько критериев оптимальности и множество ограничений в условиях динамиче-

*Работа выполнена при поддержке РФФИ (проект 18-07-00448а).

[1]Балтийский федеральный университет им. И. Канта, avkolesnikov@yandex.ru

[2]Калининградский филиал Федерального исследовательского центра «Информатика и управление» Российской академии наук, ser-list-post@yandex.ru

ских сред и дефицита времени на принятие решения.

2 Формализованная модель гибридной интеллектуальной многоагентной системы гетерогенного мышления

Формально ГИМСГМ определяется следующим образом [10]:

$$\mathrm{himsht} = \langle \mathrm{AG}^*, \mathrm{env}, \mathrm{INT}^*, \mathrm{ORG}, \{\mathrm{ht}\} \rangle ;$$

$$\mathrm{act}_{\mathrm{himsht}} = \\ = \left(\bigcup_{\mathrm{ag} \in \mathrm{AG}^*} \mathrm{act}_{\mathrm{ag}} \right) \cup \mathrm{act}_{\mathrm{dmsa}} \cup \mathrm{act}_{\mathrm{htmc}} \cup \mathrm{act}_{\mathrm{col}} ;$$

$$\mathrm{act}_{\mathrm{ag}} = (\mathrm{MET}_{\mathrm{ag}}, \mathrm{IT}_{\mathrm{ag}}) , \mathrm{ag} \in \mathrm{AG}^*, \left| \bigcup_{\mathrm{ag} \in \mathrm{AG}^*} \mathrm{IT}_{\mathrm{ag}} \right| \geq 2,$$

где $\mathrm{AG}^* = \{\mathrm{ag}_1, \ldots, \mathrm{ag}_n, \mathrm{ag}^{\mathrm{dm}}, \mathrm{ag}^{\mathrm{fc}}\}$ — множество агентов, включающее агентов-экспертов (АЭ) ag_i, $i \in \mathbb{N}$, $1 \leq i \leq n$, агента, принимающего решения (АПР), $\mathrm{ag}^{\mathrm{dm}}$ и агента-фасилитатора (АФ) $\mathrm{ag}^{\mathrm{fc}}$, n — число АЭ; env — концептуальная модель внешней среды ГИМСГМ; $\mathrm{INT}^* = \{\mathrm{prot}_{\mathrm{gm}}, \mathrm{lang}, \mathrm{ont}, \mathrm{dmscl}\}$ — элементы структурирования взаимодействий агентов: $\mathrm{prot}_{\mathrm{gm}}$ — протокол взаимодействия агентов, позволяющий организовать их коллективное гетерогенное мышление, lang — язык передачи сообщений, ont — модель предметной области, dmscl — классификатор ситуаций коллективного решения проблемы, идентифицирующий стадии этого процесса; ORG — множество архитектур ГИМСГМ; $\{\mathrm{ht}\}$ — множество концептуальных моделей макроуровневых процессов в ГИМСГМ: ht — модель процесса коллективного решения проблем методами гетерогенного мышления — ромб группового принятия решений С. Кейнера, К. Толди, С. Фиск, Д. Бергера (рис. 1) [9]; $\mathrm{act}_{\mathrm{himsht}}$ — функция ГИМСГМ в целом; $\mathrm{act}_{\mathrm{ag}}$ — функция АЭ из множества AG^*; $\mathrm{act}_{\mathrm{dmsa}}$ — функция «анализ ситуации коллективного решения проблемы» АФ, обеспечивающая идентификацию стадии процесса гетерогенного мышления ГИМСГМ на основе предлагаемых АЭ частных решений, напряженности конфликта между АЭ и предшествующей стадии процесса решения проблемы; $\mathrm{act}_{\mathrm{htmc}}$ — функция «выбор метода гетерогенного мышления» АФ, которая реализуется с использованием нечеткой базы знаний об эффективности методов гетерогенного мышления в зависимости от характеристик проблемы, стадии процесса ее решения и текущей ситуации решения в ГИМСГМ; $\mathrm{act}_{\mathrm{col}}$ — коллективная функция ГИМСГМ, конструируемая динамически; $\mathrm{met}_{\mathrm{ag}}$ — метод решения задачи; $\mathrm{it}_{\mathrm{ag}}$ — интеллектуальная технология, в рамках которой реализован метод $\mathrm{met}_{\mathrm{ag}}$.

Согласно модели, представленной на рис. 1, процесс решения проблемы ГИМСГМ трехстадийный: (1) дивергентное мышление; (2) бурление; (3) конвергентное мышление. На стадии дивергентного мышления АЭ генерируют множество вариантов решения проблемы, а АФ стимулирует их выработку соответствующими методами [11]. В случае если даже с применением методов дивергентного мышления противоречий не возникает, т. е. задача имеет очевидное решение, процесс завершается. В противном случае агенты ГИМСГМ конфликтуют по поводу знаний, убеждений, мнений, т. е. участвуют в своего рода когнитивных конфликтах [11, 12]. Конфликт — отличительная черта стадии бурления, позволяющая АФ предпринять меры по сближению точек зрения агентов. На стадии конвергентного мышления агенты совместно переформулируют, дорабатывают решения, пока не

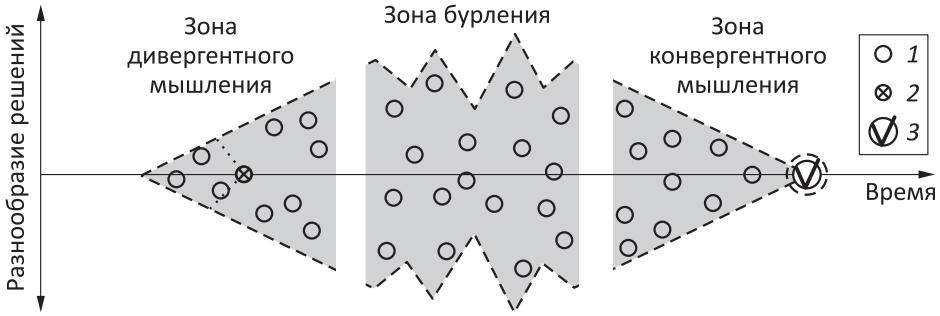

Рис. 1 Модель коллективного решения проблем методами гетерогенного мышления — ромб группового принятия решений С. Кейнера, К. Толди, С. Фиск, Д. Бергера: *1* — альтернатива; *2* — досрочное несогласованное решение; *3* — согласованное решение

получат коллективное решение, релевантное разнообразию моделей экспертов ГИМСГМ.

Функциональная структура ГИМСГМ для решения проблемы восстановления электроснабжения в региональной распределительной электросети после масштабных аварий представлена в [12]. Рассмотрим протокол взаимодействия агентов ГИМСГМ в процессе коллективного гетерогенного мышления.

3 Протокол гетерогенного мышления гибридной интеллектуальной многоагентной системы

Основная цель протоколирования агентов гибридной интеллектуальной многоагентной системы —инкапсуляция разрешенных взаимодействий. Протокол определяет схемы (распределенный алгоритм) обмена информацией, знаниями, координации агентов при решении поставленных задач [13]. С одной стороны, протокол служит для объединения агентов через концептуальный интерфейс и организации их совместной работы, с другой — определяет четкие границы компонентов системы [14]. При описании протокола должны быть специфицированы: роли агентов; типы сообщений между парами ролей; семантика каждого типа сообщения декларативно; любые дополнительные ограничения на сообщения, такие как порядок их следования или правила передачи информации из одного сообщения в другое. Такая спецификация протокола однозначно определяет, удовлетворяет ли конкретная реализация взаимодействия агентов указанному протоколу и совместим ли конкретный агент с ГИМСГМ [14].

К настоящему времени разработано множество протоколов многоагентных систем как общего назначения, так и для решения конкретных задач. Выделим наиболее известные классы протоколов [13, 15]:

(1) на основе контрактной сети [16, 17] для автоматического планирования взаимодействия агентов и минимизации затрат посредством метафоры переговоров агентов на рыночных торгах;

(2) на основе теории речевых актов [18], когда переговоры строятся с использованием небольшого числа примитивов, посредством обмена которыми агенты обсуждают некоторую тему, обновляют свои базы знаний, обмениваются «мнениями» и приходят к общему решению [13];

(3) переговорные [19, 20], предлагающие механизмы разрешения конфликтов для повышения суммарной полезности, достигаемой агентами;

(4) на основе доски объявлений, когда выделяется общая область памяти для взаимодействия агентов.

Предлагаемый протокол организации коллективного гетерогенного мышления агентов предназначен для моделирования работы малого коллектива экспертов за круглым столом, где нет необходимости сбивать цену за услуги или подбирать экспертов, поэтому он основывается на теории речевых актов. Схема работы гибридной интеллектуальной многоагентной системы по протоколу гетерогенного мышления представлена на рис. 2.

Как показано на рис. 2, стандартный протокол речевых актов [18] расширен следующими типами сообщений: request-ch-tt, commit-ch-tt, request-start-ps, request-stop-ps, request-task, report-decision, используемых для организации взаимодействия АФ, АПР и АЭ. Взаимодействуют АЭ между собой и с другими агентами по протоколу речевых актов [18].

По предлагаемому протоколу процесс коллективного гетерогенного мышления начинается с отправки агентом-фасилитатором АПР и АЭ сообщения типа request-ch-tt, в теле которого указывается метод гетерогенного мышления, применяемый на данном этапе работы ГИМСГМ. Агент-фасилитатор приостанавливает свою работу в ожидании ответов-подтверждений от АЭ и АПР. Получив от АФ сообщение request-ch-tt, АПР и АЭ выбирают соответствующий алгоритм и переходят в режим ожидания сигнала на начало решения проблемы в соответствии с данным алгоритмом. Для подтверждения получения сообщения и готовности к работе по установленному алгоритму АПР и АЭ отправляют АФ ответ-подтверждение commit-ch-tt. Дождавшись подтверждений от АПР и всех АЭ, АФ отправляет АПР сообщение request-start-ps, сигнализирующее о том, что все агенты перешли на соответствующий метод гетерогенного мышления, а система готова к дальнейшей работе, и ожидает решений от АЭ.

Получив сообщение request-start-ps, АПР формирует и рассылает задачи АЭ с использованием сообщения типа request-task, в теле которого также описываются исходные данные задачи, после чего он приступает к сбору решений, поступающих от АЭ, и работает с ними в соответствии с установленным ранее алгоритмом гетерогенного мышления.

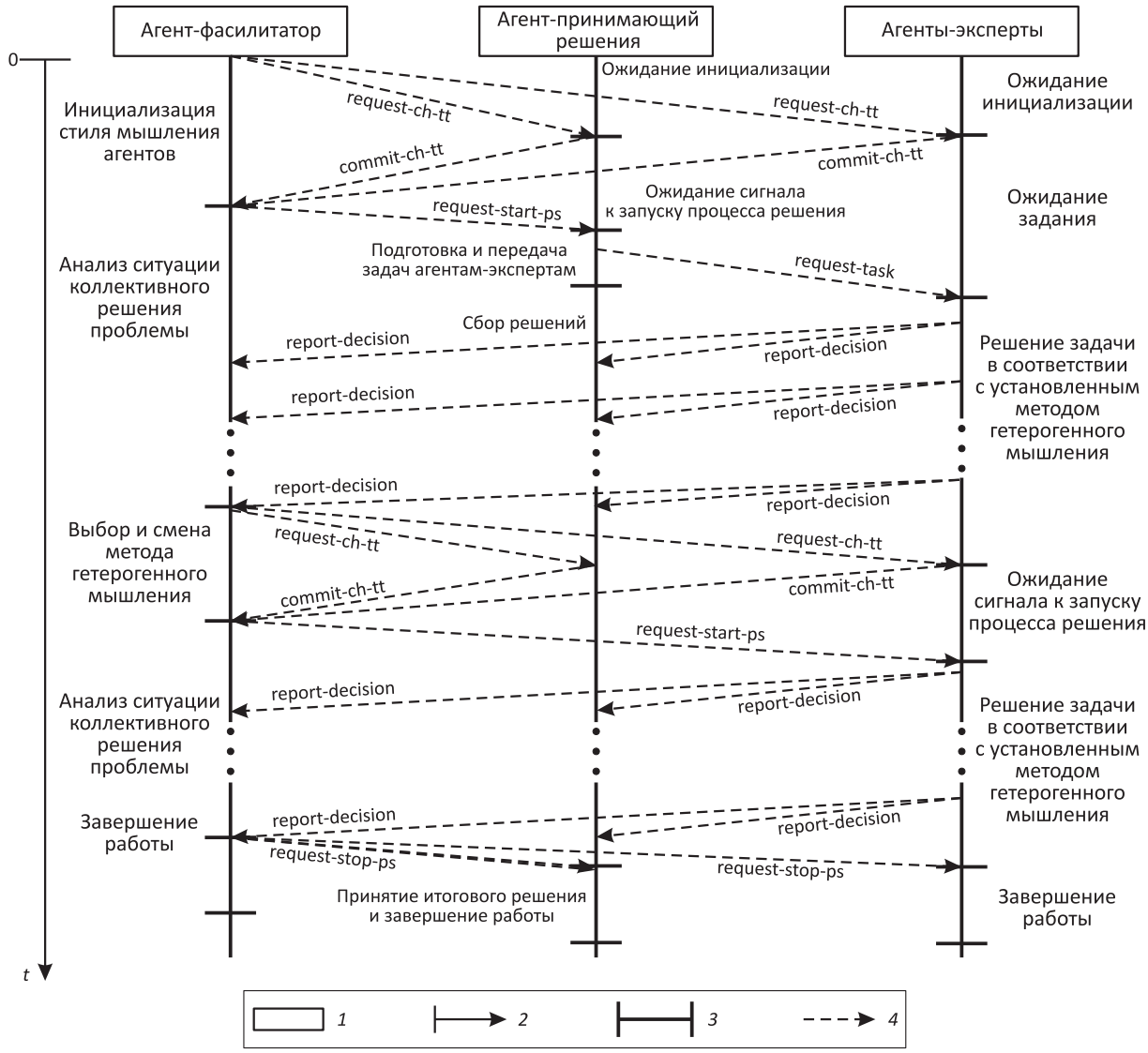

Рис. 2 Схема работы гибридной интеллектуальной многоагентной системы по протоколу гетерогенного мышления: *1* — участники коллектива; *2* — шкала времени; *3* — действие; *4* — процесс передачи информации между участниками коллектива; t — модельное время

Агенты-эксперты после получения задания от АПР начинают решать поставленные задачи в соответствии с установленным алгоритмом гетерогенного мышления. При этом в зависимости от алгоритма они могут генерировать несколько решений поставленной задачи. Все полученные альтернативы АЭ отправляют в теле сообщения типа report-decision одновременно АПР и АФ.

При получении очередного решения от АЭ агент-фасилитатор запускает функцию «анализ ситуации коллективного решения проблемы» $\mathrm{act}_{\mathrm{dmsa}}$, определяет с ее помощью напряженность конфликта в каждой паре АЭ и в ГИМСГМ в целом [4]. При достижении определенного уровня напряженности конфликта в соответствии с нечеткой базой знаний АФ запускает функцию «выбор метода гетерогенного мышления» $\mathrm{act}_{\mathrm{htmc}}$, позволяющую ему выбрать релевантный ситуации коллективного принятия решений метод гетерогенного мышления.

Для реализации данной функции АФ имеет нечеткую базу знаний о релевантности «стилей мышления» агентов различным ситуациям принятия решений в ГИМСГМ, а методов — различным особенностям проблем и стадиям коллективного принятия решений. Для формирования такой базы знаний необходимо провести серию вычислительных экспериментов по решению проблем из различных классов [5] и установить соответствие

между классом проблем и релевантными подходами к организации гетерогенного мышления. Выбрав релевантный метод, АФ отправляет АЭ и АПР сообщения типа request-ch-tt, в теле которых указан метод гетерогенного мышления для АЭ и АПР. Дожидается подтверждений от АПР и всех АЭ, после чего отправляет АЭ сообщение request-start-ps, сигнализирующее о том, что все агенты перешли на соответствующий метод гетерогенного мышления и АЭ могут продолжить работу. Агент-фасилитатор начинает прием решений от АЭ, и процесс анализа ситуации — выбора метода гетерогенного мышления — повторяется до тех пор, пока в ГИМСГМ не завершится стадия конвергентного мышления (см. рис. 1). После ее завершения АФ отправляет сигнал request-stop-ps к окончанию процесса решения проблемы АПР и АЭ и завершает свою работу. Получив такой сигнал, АЭ прерывают выполнение заданий и завершают работу, а АПР принимает окончательное коллективное решение в соответствии с установленным алгоритмом гетерогенного мышления, например решение, по которому был достигнут консенсус или отдано большинство голосов агентов на стадии конвергентного мышления. Далее передает это решение интерфейсному агенту и также завершает работу.

Число «переключений» методов мышления протоколом заранее не определено, так как стадия бурления может отсутствовать, а на стадиях дивергентного и конвергентного мышления последовательно могут применяться различные методы. Таким образом, за счет наличия у АФ нечеткой базы знаний, а также путем репрезентации неоднородной функциональной структуры сложной задачи и гетерогенного коллективного мышления интеллектуальных агентов, взаимодействующих в соответствии с предложенным протоколом, ГИМСГМ вырабатывает для каждой проблемы релевантный ей метод решения без упрощения и идеализации в условиях динамической среды.

4 Заключение

Рассмотрены особенности проблемы восстановления электроснабжения в региональной распределительной электросети после масштабных аварий и предложен новый класс интеллектуальных систем для ее решения — ГИМСГМ.

Представлено формализованное описание ГИМСГМ, ее основных составных частей.

Описан протокол организации коллективного гетерогенного мышления агентов на основе теории речевых актов. Его применение в гибридных интеллектуальных многоагентных системах, содержащих разнородные интеллектуальные самоорганизующиеся агенты, позволяет релевантно моделировать эффективные практики коллективного решения проблем.

Применение ГИМСГМ позволит оперативно-диспетчерскому персоналу электроснабжающих организаций принимать релевантные решения по восстановлению электросети в условиях дефицита времени.

Литература

1. *Adibi M. M., Fink L. H.* Overcoming restoration challenges associated with major power system disturbances // IEEE Power Energy M., 2006. Vol. 4. Iss. 5. P. 68–77.
2. *Красник В. В.* Потребители электрической энергии, энергоснабжающие организации и органы Ростехнадзора. Правовые основы взаимоотношений. — М.: НЦ ЭНАС, 2005. 250 с.
3. *Нариньяни А. С.* Инженерия знаний и НЕ-факторы: краткий обзор-08 // Вопросы искусственного интеллекта, 2008. № 1. С. 61–77.
4. *Kolesnikov A. V., Listopad S. V.* Hybrid intelligent multi-agent system of heterogeneous thinking for solving the problem of restoring the distribution power grid after failures // Open Semantic Technologies for Intelligent Systems: Research Papers Collection. — Minsk: BGUIR, 2019. P. 133–138.
5. *Колесников А. В.* Гибридные интеллектуальные системы. Теория и технология разработки. — СПб.: СПбГТУ, 2001. 711 с.
6. *Тарасов В. Б.* От многоагентных систем к интеллектуальным организациям: философия, психология, информатика. — М.: Эдиториал УРСС, 2002. 352 с.
7. *Gardner H.* Multiple intelligences — the theory in practice. — New York, NY, USA: Basic Books, 1993. 320 p.
8. *De Bono E.* Parallel thinking: From Socratic to De Bono thinking. — Melbourne: Penguin Books, 1994. 228 p.
9. *Kaner S., Lind L., Toldi C., Fisk S., Beger D.* The facilitator's guide to participatory decision-making. — San Francisco, CA, USA: Jossey-Bass, 2011. 368 p.
10. *Колесников А. В., Листопад С. В.* Модель гибридной интеллектуальной многоагентной системы гетерогенного мышления для информационной подготовки оперативных решений в региональных электрических сетях // Системы и средства информатики, 2018. Т. 28. № 4. С. 31–41.
11. *Tang A. Y. C., Basheer G. S.* A Conflict Resolution Strategy Selection Method (ConfRSSM) in multi-agent systems // Int. J. Advanced Computer Sci. Appl., 2017. Vol. 8. Iss. 5. P. 398–404.
12. *Колесников А. В., Листопад С. В.* Функциональная структура гибридной интеллектуальной многоагентной системы гетерогенного мышления для решения проблемы восстановления распределительной электросети // Системы и средства информатики, 2019. Т. 29. № 1. С. 41–52.

13. *Городецкий В. И., Грушинский М. С., Хабалов А. В.* Многоагентные системы (обзор) // Новости искусственного интеллекта, 1998. № 2. С. 64–116.

14. *Singh M. P., Chopra A. K.* Programming multiagent systems without programming agents // Programming multiagent systems / Eds. L. Braubach, J.-P. Briot, J. Thangarajah. — Lecture notes in artificial intelligence ser. — Springer, 2010. Vol. 5919. P. 1–14.

15. *Singh R., Singh A., Mukherjee S.* A critical investigation of agent interaction protocols in multiagent systems // Int. J. Advancements Technology, 2014. Vol. 5. Iss. 2. P. 72–81.

16. *Smith G.* The Contract Net Protocol: High level communication and control in a distributed problem solver // IEEE T. Comput., 1980. Vol. 29. Iss. 12. P. 1104–1113.

17. *Smith R. G.* A framework for distributed problem solving. — Ann Arbor, MI, USA: UMI Research Press, 1981. 188 p.

18. *Weerasooriya D., Rao A. S., Ramamohanarao K.* Design of a concurrent agent-oriented language // Intelligent agents / Eds. M. J. Wooldridge, N. R. Jennings. — Lecture notes in computer science ser. — Springer, 1995. Vol. 890. P. 386–401.

19. *Zlotkin G., Rosenschtein J.* Mechanisms for automated negotiation in state oriented domain // J. Artif. Intell. Res., 1996. Vol. 5. P. 163–238.

20. *Marzougui B., Barkaoui K.* Interaction protocols in multiagent systems based on agent Petri nets model // Int. J. Advanced Computer Sci. Appl., 2013. Vol. 4. Iss. 7. P. 166–173.

Поступила в редакцию 31.03.19

HETEROGENEOUS THINKING PROTOCOL OF HYBRID INTELLIGENT MULTIAGENT SYSTEM FOR SOLVING DISTRIBUTIONAL POWER GRID RECOVERY PROBLEM

A. V. Kolesnikov[1] and S. V. Listopad[2]

[1]Immanuel Kant Baltic Federal University, 14 A. Nevskogo Str., Kaliningrad 236041, Russian Federation
[2]Kaliningrad Branch of the Federal Research Center "Computer Science and Control" of the Russian Academy of Sciences, 5 Gostinaya Str, Kaliningrad 236022, Russian Federation

Abstract: The problem of power supply restoration in the regional distributional power grid after large-scale accidents is characterized by high combinatorial complexity, heterogeneity, underdetermination, inaccuracy, and ambiguity. The use of the collective problem solving mechanism to overcome the listed non-factors in the sense of A. S. Narinyani is impossible due to time constraints. To solve this problem, a new class of intelligent systems that model collective decision-making under the guidance of a facilitator is proposed, namely, hybrid intelligent multiagent systems of heterogeneous thinking. Unlike traditional hybrid intelligent systems that integrate models of expert knowledge, they additionally model group processes and effects arising from collective problem solving, adapting to the dynamic nature of the problem of restoring the regional distribution grid. The paper discusses one of the components of such systems, namely, the protocol for organizing collective heterogeneous thinking of agents.

Keywords: heterogeneous thinking; hybrid intelligent multiagent system; distributional power grid recovery problem

DOI: 10.14357/19922264190211

Acknowledgments

The reported study was funded by the Russian Foundation for Basic Research according to the research project No. 18-07-00448A.

References

1. Adibi, M. M., and L. H. Fink. 2006. Overcoming restoration challenges associated with major power system disturbances. *IEEE Power Energy M.* 4(5):68–77.

2. Krasnik, V. V. 2005. *Potrebiteli elektricheskoy energii, energosnabzhayushchie organizatsii i organy Rostekhnadzora. Pravovye osnovy vzaimootnosheniy* [Consumers of electric energy, energy supplying organizations and bodies of Rostechnadzor. Legal basis of relationships]. Moscow: ENAS. 250 p.

3. Narinyani, A. S. 2008. Inzheneriya znaniy i NE-faktory: kratkiy obzor-08 [Knowledge engineering and non-factors: A brief overview-08]. *Voprosy iskusstvennogo intellekta* [Artificial Intelligence Issues] 1:61–77.

4. Kolesnikov, A. V., and S. V. Listopad. 2019. Hybrid intelligent multiagent system of heterogeneous thinking for solving the problem of restoring the distribution power grid after failures. *Open Semantic Technologies for Intelligent Systems: Research Papers Collection*. Minsk: BGUIR. 133–138.
5. Kolesnikov, A. V. 2001. *Gibridnye intellektual'nye sistemy. Teoriya i tekhnologiya razrabotki* [Hybrid intelligent systems: Theory and technology of development]. St. Petersburg: SPbSTU Publs. 711 p.
6. Tarasov, V. B. 2002. *Ot mnogoagentnykh sistem k intellektual'nym organizatsiyam: filosofiya, psikhologiya, informatika* [From multiagent systems to intelligent organizations: Philosophy, psychology, and informatics]. Moscow: Editorial URSS. 352 p.
7. Gardner, H. 1993. *Multiple intelligences — the theory in practice*. New York, NY: Basic Books. 320 p.
8. De Bono, E. 1994. *Parallel thinking: From Socratic to De Bono thinking*. Melbourne: Penguin Books. 228 p.
9. Kaner, S., L. Lind, C. Toldi, S. Fisk, and D. Beger. 2011. *The facilitator's guide to participatory decision-making*. San Francisco, CA: Jossey-Bass. 368 p.
10. Kolesnikov, A. V., and S. V. Listopad. 2018. Model' gibridnoy intellektual'noy mnogoagentnoy sistemy geterogennogo myshleniya dlya informatsionnoy podgotovki operativnykh resheniy v regional'nykh elektricheskikh setyakh [Model of a hybrid intelligent multiagent system of heterogeneous thinking for preparation of information about operational decisions in a regional power system]. *Sistemy i Sredstva Informatiki — Systems and Means of Informatics* 28(4):31–41.
11. Tang, A. Y. C., and G. S. Basheer. 2017. A Conflict Resolution Strategy Selection Method (ConfRSSM) in multiagent systems. *Int. J. Adv. Computer Sci. Appl.* 8(5):398–404.
12. Kolesnikov, A. V., and S. V. Listopad. 2019. Funktsional'naya struktura gibridnoy intellektual'noy mnogoagentnoy sistemy geterogennogo myshleniya dlya resheniya problemy vosstanovleniya raspredelitel'noy elektroseti [Functional structure of the hybrid intelligent multiagent system of heterogeneous thinking for solving the problem of restoring the distribution power grid]. *Sistemy i Sredstva Informatiki — Systems and Means of Informatics* 29(1):41–52.
13. Gorodetskiy, V. I., M. S. Grushinskiy, and A. V. Khabalov. 1998. Mnogoagentnye sistemy (obzor) [Multiagent systems (review)]. *Novosti iskusstvennogo intellekta* [Artificial Intelligence News] 2:64–116.
14. Singh, M. P., and A. K. Chopra. 2010. Programming multiagent systems without programming agents. *Programming multi-agent systems*. Eds. L. Braubach, J.-P. Briot, and J. Thangarajah. Lecture notes in artificial intelligence ser. Springer. 5919:1–14.
15. Singh, R., A. Singh, and S. Mukherjee. 2014. A critical investigation of agent interaction protocols in multiagent systems. *Int. J. Advancements Technology* 5(2):72–81.
16. Smith, G. 1980. The Contract Net Protocol: High level communication and control in a distributed problem solver. *IEEE T. Comput.* 29(12):1104–1113.
17. Smith, R. G. 1981. *A framework for distributed problem solving*. Ann Arbor, MI: UMI Research Press. 188 p.
18. Weerasooriya, D., A. S. Rao, and K. Ramamohanarao. 1994. Design of a concurrent agent-oriented language. *Intelligent agents*. Eds. M. J. Wooldridge and N. R. Jennings. Lecture notes in computer science ser. Springer. 890:386–401.
19. Zlotkin, G., and J. Rosenschtein. 1996. Mechanisms for automated negotiation in state oriented domain. *J. Artif. Intell. Res.* 5:163–238.
20. Marzougui, B., and K. Barkaoui. 2013. Interaction protocols in multi-agent systems based on agent Petri nets model. *Int. J. Advanced Computer Sci. Appl.* 4(7):166–173.

Received March 31, 2019

Contributors

Kolesnikov Alexander V. (b. 1948) — Doctor of Science in technology, professor, Institute of Physical and Mathematical Sciences and Information Technology, Immanuel Kant Baltic Federal University, 14 A. Nevskogo Str., Kaliningrad 236041, Russian Federation; avkolesnikov@yandex.ru

Listopad Sergey V. (b. 1984) — Candidate of Science (PhD) in technology, senior scientist, Kaliningrad Branch of the Federal Research Center "Computer Science and Control" of the Russian Academy of Sciences, 5 Gostinaya Str., Kaliningrad 236022, Russian Federation; ser-list-post@yandex.ru