

УДК 621.311

МЕТОДОЛОГІЯ РОЗРОБЛЕННЯ МУЛЬТИАГЕНТНИХ СИСТЕМ КЕРУВАННЯ В ЕЛЕКТРОЕНЕРГЕТИЦІ

О.В. Кириленко, акад. НАН України, **О.Б. Рибіна**, канд.техн.наук, **С.Є. Танкевич**, канд.техн.наук
Інститут електродинаміки НАН України,
пр. Перемоги, 56, Київ-57, 03680, Україна. **e-mail: tankevych.s@gmail.com**

Показано доцільність та перспективність застосування мультиагентних технологій для вирішення проблем керування в електроенергетиці. Запропоновано методологію створення мультиагентних систем керування для різних сфер застосування, орієнтовану на п'ять основних етапів розроблення таких систем, кожний з них використовує результати попередніх етапів проектування. Запропонована методологія дозволяє проектувати та розробляти мультиагентні системи керування із дотриманням взаємосумісності їхніх компонентів та врахуванням спадковості. Бібл. 8, рис. 1.

Ключові слова: система керування, мультиагентна система, агент, інформаційний обмін.

Складність керування сучасними електроенергетичними системами (ЕЕС) настільки велика, що централізоване керування стає неефективним [1], тому розвиваються нові підходи до організації керування такими системами. Розвиток концепції Smart Grid призводить до суттєвих змін у підходах до організації систем керування, у тому числі, в правилах взаємодії учасників ринку електроенергії. При цьому виникають нові учасники та додаткові можливості. Мультиагентний підхід як складова цієї концепції має ряд переваг та дозволяє ефективно вирішувати різноманітні проблеми керування в електроенергетичних системах.

Вже близько двадцяти років у світі відомі напрацювання щодо використання мультиагентних систем (МАС) в електроенергетиці. Мультиагентні технології отримали розвиток для цілого ряду застосувань, включаючи діагностику, моніторинг стану, відновлення системи живлення, моделювання ринків, керування мережею та автоматикою [2-4].

У МАС одна із найбільш складних проблем пов'язана з визначенням поняття агент. На сьогодні всі визначення спрямовані на формування концептуального поняття агента, його середовища і властивості автономії. Базове поняття агента належить Вулдріджу [5]. Згідно з цим визначенням, агент – це програмне або апаратне забезпечення, що перебуває у деякому середовищі й здатне автономно реагувати на зміни в ньому. Під середовищем розуміємо все те, що знаходиться за межами агента. Надалі будемо дотримуватися саме такого визначення. При цьому для того, щоб вважати, що агент знаходиться у певному середовищі, щонайменше частина його має бути доступна агенту або мати можливість змінюватися ним. Середовище може бути фізичним (наприклад, електрична мережа) і спостерігатися за допомогою різних давачів, або це може бути обчислювальне середовище (наприклад, бази даних, обчислювальні ресурси тощо), і тоді вони мають спостерігатися за допомогою системних викликів, програмних звернень та передавання повідомлень. Агент може змінювати навколишнє середовище, виконуючи будь-яку дію. Мова йде про фізичну дію (наприклад, закриття зазвичай доступної точки налагодження мережі) або іншим чином (наприклад, зберігання діагностичної інформації в базі даних для доступу інших агентів). За цим визначенням автономії деякі існуючі системи можуть класифікуватися як агенти. Наприклад, таким агентом може вважатися захисне реле. Воно розміщене у своєму середовищі, тобто на підстанції, реагує на зміни у середовищі, тобто на зміни напруги чи струму.

У загальному випадку мультиагентна система – це система, що містить два або більше звичайних чи інтелектуальних агентів. Важливо зазначити, що зазвичай немає жодної загальної мети системи, тільки локальні цілі кожного окремого агента. Наміри розробника системи можуть бути реалізовані тільки шляхом додавання кількох інтелектуальних агентів, локальні цілі яких кореспондують з цими намірами. В електроенергетиці пропонуємо вважати мультиагентною системою таку, де кожен учасник організує взаємодію через визначених агентів із своїм набором цілей та пріоритетів. Такі агенти самостійно реагують на зміну середовища і взаємодіють з іншими агентами для координації дій і спільного прийняття рішень.

Агенти у звичайній мультиагентній системі можуть мати або не мати можливості взаємодії один з одним, проте інтелектуальні агенти мають соціальну властивість і тому мають взаємодіяти один з одним. Будь-який інтелектуальний агент повинен мати такі три характеристики: реактивність, ініціативність та соціальність.

Реактивність дає змогу агенту своєчасно реагувати на зміни у його середовищі і виконувати певні дії, основані на цих змінах. Ініціативність характеризує поведінку агента, що спрямована на результат. Це означає,

що агент буде динамічно змінювати свою поведінку з метою досягнення власної цілі. Соціальність вказує на здатність взаємодіяти з іншими інтелектуальними агентами.

Оскільки в ЕЕС усі складові спрямовані на спільний результат і кожна складова відповідає за свої цілі, то електроенергетика є галуззю, де від застосування МАС можна отримати значну вигоду. Проте розроблення МАС не є простою задачею і для створення таких систем в електроенергетичній галузі необхідно мати особливий підхід до розроблення таких систем [6, 7].

Отже, **метою статті** є створення методології розроблення мультиагентних систем керування в електроенергетиці, що дозволяє розробляти взаємосумісні системи для будь-яких застосувань та надавати їм характеристик та переваг, властивих МАС у цілому.



Розглянемо запропоновану методологію (рисунок). На кожному етапі методології отримують результати, які використовуються в наступних етапах процесу проектування.

Передусім, на першому етапі необхідно визначитися із потребою використання агентів для розв'язання задач, що має виконувати розроблювана система. Для цього необхідно провести аналіз предметної області. Доцільно розглядати можливість застосування МАС, якщо сфера їхнього застосування має одну або більше з наступних особливостей:

- наявність взаємодії між різними концептуальними об'єктами такими, як різноманітні керуючі підсистеми;
- наявність взаємодії великої кількості сторін, коли неможливо явно змоделювати поведінку системи в цілому, наприклад, моделювання енергетичного ринку, де моделюється кожний учасник ринку, незалежний оператор системи, клієнт тощо;
- достатня кількість даних/інформації на місцевому рівні для проведення аналізу/рішення без необхідності зв'язку з центром, наприклад, діагностика підстанції на основі даних систем моніторингу трансформатора, розподільного обладнання та релейного захисту;
- необхідність реалізації нових функцій у рамках існуючих компонентів і систем керування, наприклад, розширення системи моніторингу стану підстанцій шляхом додавання функцій інтерпретації даних;
- потреба постійного розширення функціональності, наприклад, системи керування активами за рахунок використання моніторингу стану в режимі реального часу на кількох елементах.

Наступним є етап визначення вимог та задач і накопичення знань, необхідних для виконання цих вимог. На цьому етапі визначені вимоги і накопичені знання перетворюються в ієрархію задач і підзадач. Ці задачі можуть мати функції, що виконуються іншими існуючими системами, на-

приклад, для виконання функцій аналізу даних. У подальшому відбувається поділ загальної системи керування на елементи різної функціональності та рівня інтеграції.

Після завершення етапу визначення вимог та задач можна розробляти онтологію певної сфери застосування. Під поняттям онтологія будемо розуміти загальноприйнятну і загальнодоступну концептуалізацію певної області знань, яка містить базис для моделювання цієї області знань і визначає протоколи для взаємодії між агентами, які використовують знання з цієї області, і, нарешті, включає домовленості про представлення теоретичних основ цієї сфери знань. Інакше кажучи, онтологія відображає концепції області знань та відносин між цими концепціями у структурованій манері. Розроблення онтології передбачає розроблення моделі даних та словника, що використовується агентами для обміну інформацією та даними. Це один із найважливіших аспектів розроблення МАС, оскільки він забезпечує зв'язок між агентами. Розробники системи можуть використовувати вищу онтологію як початкову точку для розробки специфічних онтологій для певних застосувань. Вища онтологія має містити базові концепції та області. Така онтологія зазвичай мало деталізована для конкретних систем, проте гарантує, що різні МАС будуть використовувати однакові базові уявлення таких загальних понять, як "підстанція", "трансформатор", "струмопровідне обладнання" тощо і спосіб, у який вони пов'язані між собою. Вища онтологія буде гарантом того, що різні мультиагентні системи будуть мати схожі уявлення про загальні поняття. На сьогодні немає стандартної вищої онтології для енергетичних систем, проте існуючі стандарти, такі як ІЕС 61970 [8], можуть надати моделі даних для використання у вищій онтології. Проте ці стандарти не можуть безпосередньо бути використані для мультиагентних комунікацій, оскільки комунікаційні можливості агентів вимагають більш розширеної мови, ніж застосовують у стандартах даних.

Етап моделювання агента використовує ієрархію задач і розроблену онтологію для визначення переліку агентів з їхніми властивостями, що будуть розв'язувати визначені задачі. Агент може відповідати за виконання однієї або кількох задач, проте кожна задача в ієрархії має бути присвоєна щонайменше одному агенту. Результатом цього етапу має стати набір агентів та їхніх моделей із врахуванням задач, які повинні виконувати агенти.

Якщо існує необхідність долучення інших агентів у майбутньому, то така система повинна мати відкриту архітектуру і підтримувати можливість повторного використання створених агентів. Тобто слід приділити увагу питанню взаємодії агента з майбутніми агентами.

Після того, як будуть визначені необхідні агенти, потрібно визначити їхню взаємодію у рамках системи, а також можливості передавання повноважень від одного агента до іншого через його відмову. Це відображається у вигляді схем взаємодії та комунікаційних дій, що визначають тип змісту повідомлень та потік повідомлень, очікуваний кожним агентом при виконанні певних класів комунікаційних дій. Наприклад, агент А може бути зацікавлений у інформації щодо розподілених генераторів, приєднаних до певної локальної мережі. Якщо агент Б відповідальний за керування мережею, то агент А може надіслати запит агенту Б щодо розміщення локальних генераторів, приєднаних до мережі у цей час. Даний етап процесу розроблення МАС включає також визначення функціональних можливостей взаємодії агента і керування ним. Розробляються програмні функції агентів, що дозволяють їм взаємодіяти, включаючи механізми керування ними, при цьому досягається автономність, ініціативність та соціальність.

Отже, застосування запропонованої методології проектування в електроенергетиці забезпечує структурований аналітичний підхід до розробки мультиагентних систем. При розробленні МАС особливу увагу слід приділяти видам зв'язку, в яких може брати участь кожний агент, оскільки це є ключовим фактором при забезпеченні гнучкості та забезпеченні можливості розширення таких систем. Запропонована методологія дозволяє розробляти взаємодійні системи для будь-яких застосувань в електроенергетичній галузі та надавати їм характеристик та переваг, властивих МАС у цілому.

УДК 621.311

МЕТОДОЛОГИЯ РАЗРАБОТКИ МУЛЬТИАГЕНТНЫХ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ В ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИКЕ

А.В. Кириленко, акад. НАН України, **О.Б. Рыбина**, канд.техн.наук **С.Е. Танкевич**, канд.техн.наук

Институт электродинамики НАН Украины,

пр. Победы, 56, Киев-57, 03680, Украина. e-mail: tankevych.s@gmail.com

Показана целесообразность и перспективность применения мультиагентных технологий для решения проблем управления в электроэнергетике. Предложена методология создания мультиагентных систем управления для различных сфер применения. Методология ориентирована на пять основных этапов разработки таких систем. Каждый из них использует результаты предыдущих этапов проектирования. Предложенная методология позволяет проектировать и разрабатывать мультиагентные системы управления с соблюдением совместимости их компонентов и с учетом наследственности систем. Библ. 8, рис. 1.

Ключевые слова: система управления, мультиагентная система, агент, информационный обмен.

METHODOLOGY FOR DESIGN OF MULTI-AGENT CONTROL SYSTEMS IN POWER INDUSTRY

O.V. Kyrylenko, O.B. Rybina, S.Ye. Tankevych

Institute of Electrodynamics of NAS of Ukraine,

pr. Peremohy, 56, Kyiv-57, 03680, Ukraine. e-mail: tankevych.s@gmail.com

The article shows expediency and promising of application of multi-agent technology to solve control problems in power industry. The design methodology of multi-agent control systems for various applications in power industry is shown. It focused on five major stages of development of such systems. Each uses the results of the previous stages of design. The methodology allows to design and develop multi-agent control system in compliance with the interoperability of components and taking into account system heredity. References 8, figure 1.

Key words: control system, multi-agent system, agent, information exchange.

1. Stognii B., Kyrylenko O., Prakhovnyk A., Denysiuk S. The evolution of intelligent electrical networks and their prospects in Ukraine // Tekhnichna elektrodynamika. – 2012. – No 5. – Pp. 52–67. (Ukr)

2. Davidson E. M., McArthur S. D. J., McDonald J. R., Cumming T. and Watt I. Applying multi-agent system technology in practice: Automated management and analysis of SCADA and digital fault recorder data // IEEE Trans. Power Syst. 2006. – Vol. 21. – No. 2. – Pp. 559–567.

3. Nagata T. and Sasaki H. A multi-agent approach to power system restoration // IEEE Trans. Power Syst. 2002. – Vol. 17. – No. 2. – Pp. 457–462.

4. Widergren S. E., Roop J. M., Guttronsom R. T. and Huang Z. Simulating the dynamic coupling of market and physical system operations // Proc. IEEE Power Eng. Soc. General Meeting. 2004. – Vol. 1. – Pp. 748–753.

5. Wooldridge M. Intelligent Agents In G. Weiss. – Multiagent Systems, The MIT Press, 1999. – 51 p.

6. Inglesia C.A., Garijo M., Gonzalez J.C. and Velasco J.R. Analysis and design of multi-agent systems using MAS-Common KADS // Intelligent Agents IV: Agent Theories, Architectures and Languages. – 1998. – Pp. 313–326.

7. Hossack J., McArthur S.D.J., McDonald J.R., Stokoe J., Cumming T. A multi-agent approach to power system disturbance diagnosis // Power System Management and Control, Conference Publication. – 2002. – No 488. – Pp. 317–322.

8. Energy management system application program interface (EMS-API): IEC 61970. – International Electrotechnical Commission. – (International Standard).

Надійшла 31.03.2016
Остаточний варіант 05.04.2016