

УДК 004.89

Разработка многоагентной системы оценивания состояний электроэнергетических систем с использованием событийных моделей

Массель Л. В.¹, Гальперов В. И.^{1,*}

^{*}galperov@gmail.ru

¹ИСЭМ СО РАН им. Л.А. Мелентьева, Иркутск, Россия

Актуальность работы определяется, с одной стороны, развитием концепции «интеллектуальных энергетических систем» (Smart Grid), одним из важных аспектов которой является использование многоагентных технологий, с другой – малым количеством практических подходов к реализации многоагентных систем. В данной статье описывается предлагаемая авторами методика построения многоагентных систем для решения энергетических задач, в частности задачу оценивания состояний ЭЭС. Методика включает в себя использование агентных сценариев для формирования пользователем последовательности вызова тех или иных агентов. Для описания сценариев применяются событийные модели на основе Joiner-сетей, в которых процессы функционирования каждого агента являются узлами сети, а события являются сигналами о прекращении выполнения процессов. В статье описывается разработка многоагентной системы оценивания состояний ЭЭС с использованием предлагаемой методики. На данном этапе выполнена реализация агента декомпозиции исходной схемы ЭЭС по уровням напряжения. Проведено сравнение расчетов общей схемы сети с расчетами получившихся подсистем. Результаты вычислительного эксперимента представлены в статье для демонстрации корректной работы системы.

Ключевые слова: агент, многоагентные системы, оценивание состояний ЭЭС, агентные сценарии, Smart Grid, Joiner-сети

Введение

Развитие рыночных отношений в электроэнергетике России привело к появлению новых задач, для решения которых необходимы расчетные модели текущего режима электроэнергетических систем, получаемые на основе данных телеизмерений с помощью методов оценивания состояния (ОС) [1, 2].

Одной из тенденций развития современных энергетических систем является концепция интеллектуальных энергетических систем (ИЭС), за рубежом – Smart Grid), которая нацелена на создание электрических сетей, удовлетворяющих будущим требованиям по энергоэффективному и экономичному функционированию энергосистемы

за счет скоординированного управления и при помощи современных двусторонних коммуникаций между элементами электрических сетей, электрическими станциями, аккумулирующими источниками и потребителями [3].

Существенно улучшить свойства решения задачи оценивания состояния позволяет использование измерений, поступающих от устройств измерения комплексных электрических величин – PMU (Phase Measurement Units) [4]. Измерения, поступающие от PMU, более полно отражают режим рабочей схемы ЭЭС. Кроме этого, важное место в концепции ИЭС занимает многоагентный подход к созданию автоматизированных программных средств управления электроэнергетическими системами. Одними из основных направлений работ по развитию автоматизированной системы управления режимами являются разработка алгоритмов выявления предаварийных состояний энергосистем и диагностики электротехнического оборудования на основе методов оценивания состояний и параметрической идентификации и создание систем распределенного расчета режимов энергосистем. Применение многоагентного подхода позволяет разработать оперативную и гибкую в настройке систему оценивания состояний ЭЭС [5].

1. Существующие подходы к разработке многоагентных систем

Для организации процесса распределения задачи в многоагентных системах создается либо система распределенного решения проблемы, либо децентрализованная система искусственного интеллекта. В случае использования последней распределение заданий происходит в процессе взаимодействия агентов и носит больше спонтанный характер [6]. Децентрализованная система искусственного интеллекта подходит исключительно для моделирования процессов и не может помочь при решении каких-либо вычислительных задач. Если нам необходимо решать комплексные вычислительные задачи, то в такой ситуации агенты должны действовать сообща, чтобы выполнить задачу максимально качественно и в наиболее короткие сроки.

Для разработки стандартов в области создания многоагентных систем была сформирована организация FIPA (Foundation for Intelligent Physical) [7]. Было достаточно много разработок, которые поддерживали стандарты, предложенные FIPA, среди них такие, как: Java Intelligent Agent Componentware, The SPADE Multiagent and Organizations Platform, JACK Intelligent Agents, The Fipa - OS agent platform, AgentService, Zeus Agent Building Toolkit и другие.

Между собой агенты обмениваются при помощи сообщений на языке ACL, который поддерживает стандарт FIPA [8]. Сообщения могут носить разный характер: запрос,

информирование, передача данных и т.д. Во время своей работы агент накапливает сообщения, которые приходят ему от других агентов и по очереди занимается их обработкой.

Большинство созданных ранее систем уже не поддерживаются и не развиваются, за исключением единичных представителей. Одной из широко распространенных программных сред для разработки многоагентных систем является JADE, реализованная на языке Java [9]. Однако привязка исключительно к платформе Java ограничивает ее использование. В случае, если исходная программа создана на другом языке программирования, могут возникнуть проблемы при организации взаимодействия между JADE-элементами и компонентами самой программы. Также существует проблема модернизации существующих систем, уже использующих платформу JADE. Для изменения алгоритма работы системы необходимо вмешательство специалиста-программиста. Это не позволяет пользователю самостоятельно вносить корректировки в работу какого-либо конкретного алгоритма, заложенного в системе.

Таким образом, на данный момент существует очень небольшое количество платформ, позволяющих организовывать работу многоагентных систем. Именно поэтому разработка новых подходов к реализации многоагентных систем является актуальной и востребованной задачей.

2. Методика построения многоагентных систем

Исходя из того, что на данный момент не существует единого подхода к разработке многоагентных систем, было принято решение разработать собственную методику для построения мультиагентных систем (МАС). Методика включает 5 этапов, на каждом из которых выполняется последовательность действий.

1 Описание будущей системы, исходя из специфики решаемой задачи.

1.1 Определить цель создания МАС.

1.2 Выделить задачи, которые необходимо решить. Поставленная цель может быть достижима в несколько этапов и включать в себя решение нескольких задач, каждая из которых может быть разбита на подзадачи.

1.3 Исходя из задач, определить функции МАС.

1.4 Определить список будущих агентов на основании функций системы. Алгоритм «большой» задачи необходимо разбить на этапы, за выполнение каждого из которых будет отвечать определенный агент. Точно также решение «малых», последовательных задач можно выполнять в рамках одного агента. Для тех задач, которые подразумевают возможность проведения параллельных вычислений, необходимо создать специальный тип агента, в системе будет

содержаться несколько экземпляров агента данного типа. Должен присутствовать главный модуль, который занимается мониторингом работоспособности всей системы, а так же следит за выполнением поставленных задач.

2 Построение и описание агентных сценариев.

2.1 Определить порядок вызова имеющихся в системе агентов, включая возможность ветвлений, циклов и распределенных вычислений. Данный порядок является агентным сценарием, которых в системе может быть несколько, в зависимости от поставленной цели и тех задач, которые необходимо решить.

2.2 Описать сценарии в виде событийной карты, с использованием Joiner-элементов.

3 Разработка архитектуры МАС.

3.1 На основании созданного списка агентов и сценариев построить общую схему будущей системы с их участием.

3.2 Выделить функциональные, системные и технические требования к системе.

3.3 Определить список технологий, которые будут использованы при реализации системы.

4 Проектирование МАС.

4.1 Построить диаграмму прецедентов, IDEF0-модель и диаграммы классов для каждого агента.

4.2 Описать алгоритм взаимодействия между агентами. Составить список возможных сообщений, которыми агенты обмениваются в системе.

4.3 Выполнить проектирование пользовательского интерфейса.

5 Реализация МАС.

5.1 Разработать каждый агент в отдельности и провести его тестирование, чтобы убедиться, что заложенные в него алгоритмы решения задач работают корректно.

5.2 Разработать главный модуль, проверить правильность сетевого взаимодействия его и других агентов в системе.

5.3 Провести тестирование функции мониторинга работы системы.

5.4 На тестовом примере проверить корректность, как отдельных элементов, так и комплексную работу системы.

Методика построения системы, с указанием всех участвующих в создании лиц и управляющих воздействий приведена на диаграмме (рис. 1).

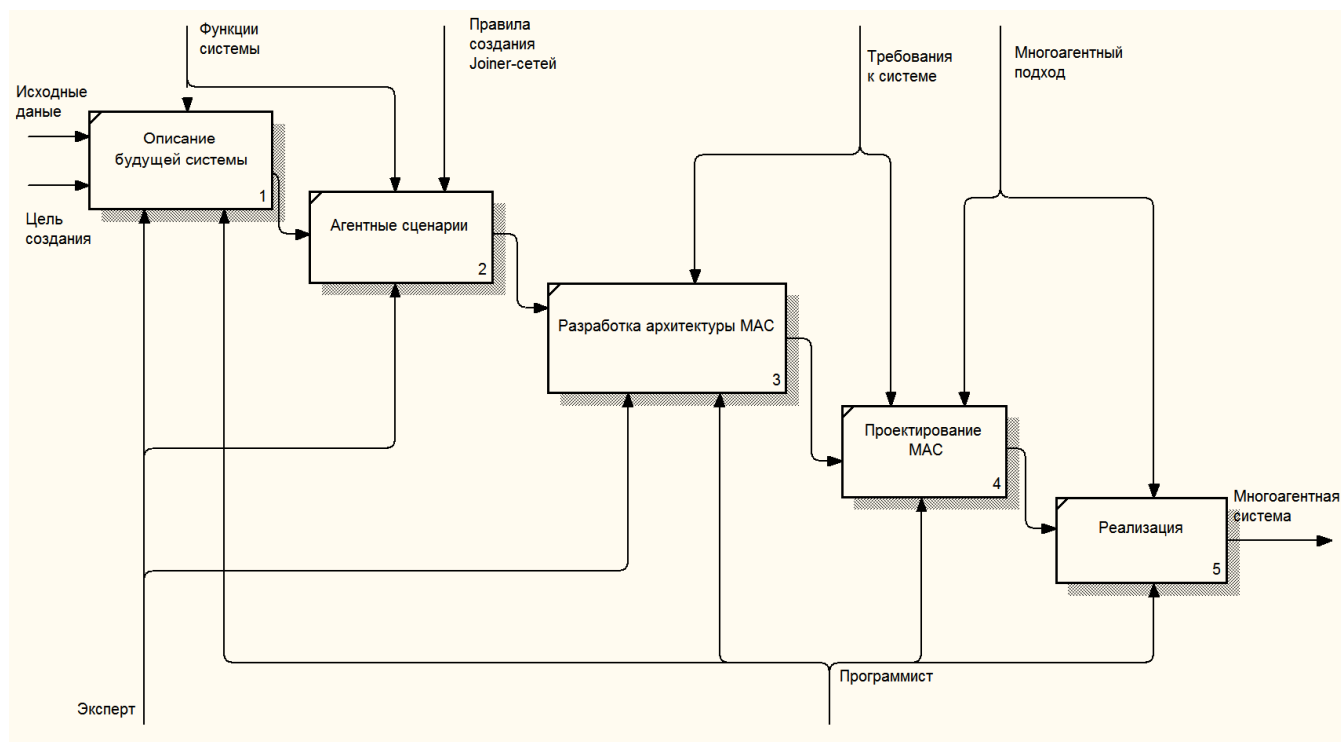


Рис. 1. Диаграмма методики построения многоагентных систем

3. Применение предложенного подхода для решения распределенной задачи оценивания состояний ЭЭС

На рис. 2 приведена общая схема многоагентной системы для оценивания состояния ЭЭС. Сначала клиент передает главному модулю системы исходную схему ЭЭС для расчетов, после этого начинается поиск агента.

На первом этапе выполняется декомпозиция расчетной схемы на области, соответствующие уровням узловых напряжений. Границами областей являются узлы, смежные с узлами класса напряжения данной области.

Далее каждая из полученных схем распределяется между агентами оценивания состояния и рассчитывается параллельно. Алгоритм оценивания состояния по подсистемам с граничными узлами состоит в следующем:

- Для каждой области, включающей граничные узлы, решается задача обнаружения плохих данных методом контрольных уравнений.
- В случае обнаружения всех плохих данных или их отсутствия решается задача оценивания состояния методом взвешенных наименьших квадратов.
- В случае невозможности определения всех ошибочных телеизмерений, и, соответственно, невозможности обнаружения плохих данных, выполняется оценивание состояния с помощью робастного критерия (подавления плохих данных) [10].

На следующем этапе все схемы необходимо вновь соединить в одну, однако для начала необходимо провести согласования данных в граничных узлах, этим занимается

агент координации. Если согласование не было достигнуто, то в схему вносятся корректировки и вновь производится оценивание состояния. В случае, если согласование достигнуто, то схемы передаются агенту агрегации, который вновь объединяет их в единую схему и возвращает клиенту.

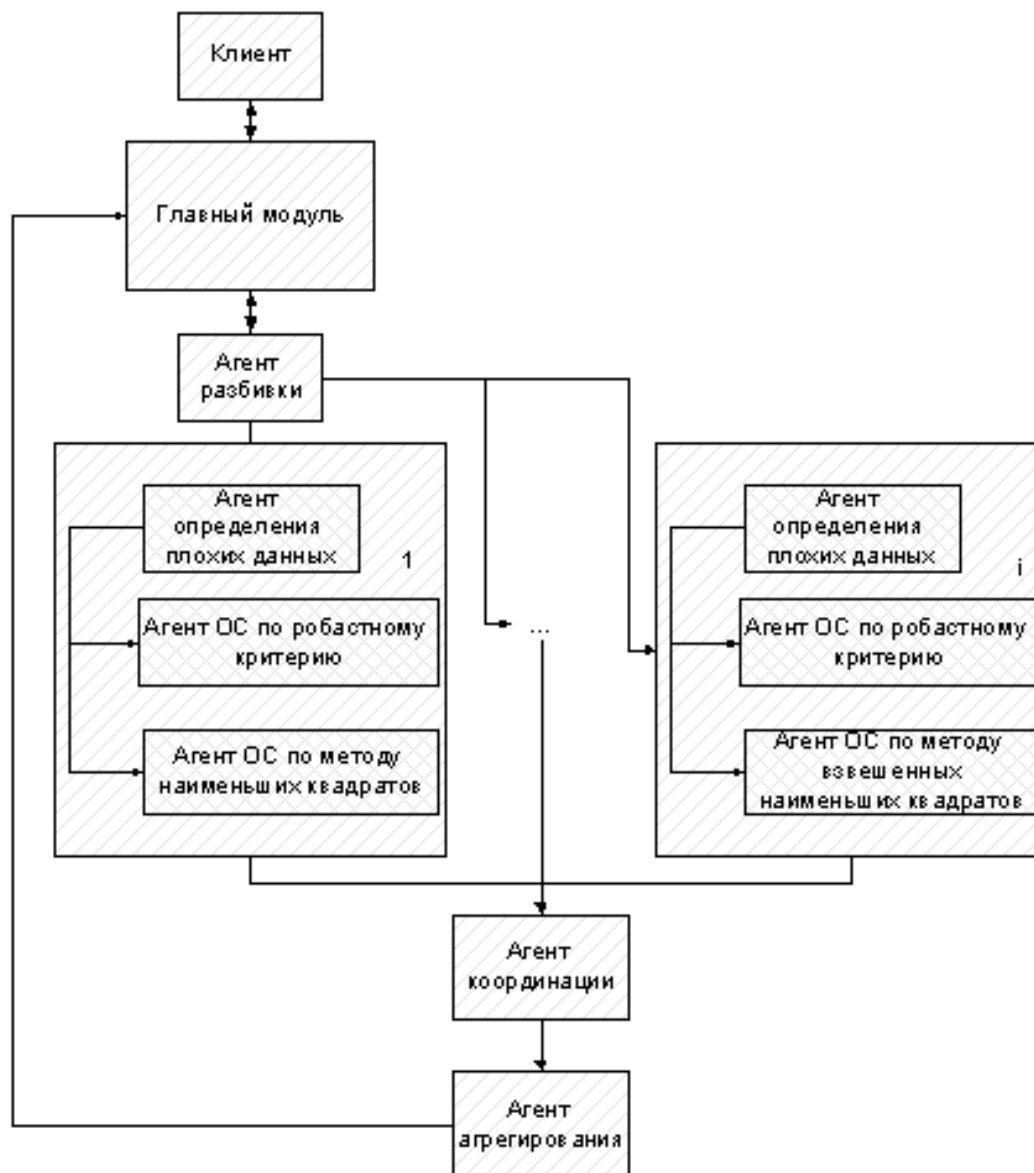


Рис.2. Схема взаимодействия агентов в многоагентной системе оценивания состояния ЭЭС.

4. Агентные сценарии

Агентные сценарии предлагаются для редактирования алгоритма решения задачи без участия программистов. Сценарии формируются пользователями-экспертами. Каждый агент в системе выполняет определенный этап того или иного алгоритма. Однако возможны случаи, когда необходимо внести изменения в процесс решения задач.

Для того, чтобы не приходилось вносить изменения в главный модуль, и чтобы пользователь мог сам редактировать существующий алгоритм, предлагается использовать сценарии для агентов. После включения агент должен передать главному модулю не только информацию о своем местонахождении в сети, но и о тех задачах, которые он умеет решать.

Таким образом, составляется список различных типов агентов. Когда пользователю нужно провести расчеты, он может собственноручно выстраивать порядок, в котором будут вызваны те или иные агенты. При необходимости, он сможет отредактировать существующий алгоритм, добавить новые этапы расчетов или убрать существующие, чтобы получить промежуточные результаты.

Взаимодействие агентов заключается в обмене информацией, необходимой для выполнения собственных задач. Получение или предоставление такой информации можно рассматривать как системные события. Поскольку события служат для того, чтобы агенты могли вызывать друг друга и обмениваться информацией, то для каждого агента можно определить входные и выходные события. Входным событием для агента является факт получения агентом информации, необходимой для начала работы, а выходным – формирование агентом результатов своей работы. Модель взаимодействия агентов может быть описана Joiner-сетью.

Аппарат Joiner-сетей является одной из разновидностей алгебраических сетей, предложенной проф. МФТИ Л.Н. Столяровым и развиваемой его учениками [11, 12]. Joiner-сети (Joiner-Nets – JN) можно рассматривать как расширение сетей Петри, ориентированное на построение поведенческих моделей. В основе теории JN лежит описание логики взаимодействия асинхронных процессов в виде набора пусковых и флаговых функций, состоящих из булевых функций. Особенностью JN является то, что они предусматривают как графическое представление, так и описание в виде логических формул, обработку которых можно автоматизировать.

Joiner-сети (JN) – сети Петри со специальной формой логической интерпретации – другими словами, в качестве пусковых и флаговых функций Joiner-сети могут выступать произвольные булевы функции. Теоретически являются обобщением практически всех подклассов сетей Петри [11, 13, 14].

Joiner-сеть агентного сценария состоит из узлов, которыми являются процессы функционирования агентов и событий, которые инициируют эти процессы и сигнализируют о прекращении их выполнения. Процессы связываются между собой с помощью входных и выходных событий. Выходные события одного процесса могут являться входными, иначе говоря – инициирующими запуск событиями для другого [15].

Графически представить взаимодействие агентов в нотации Joiner-сетей можно следующим образом (рис.3).

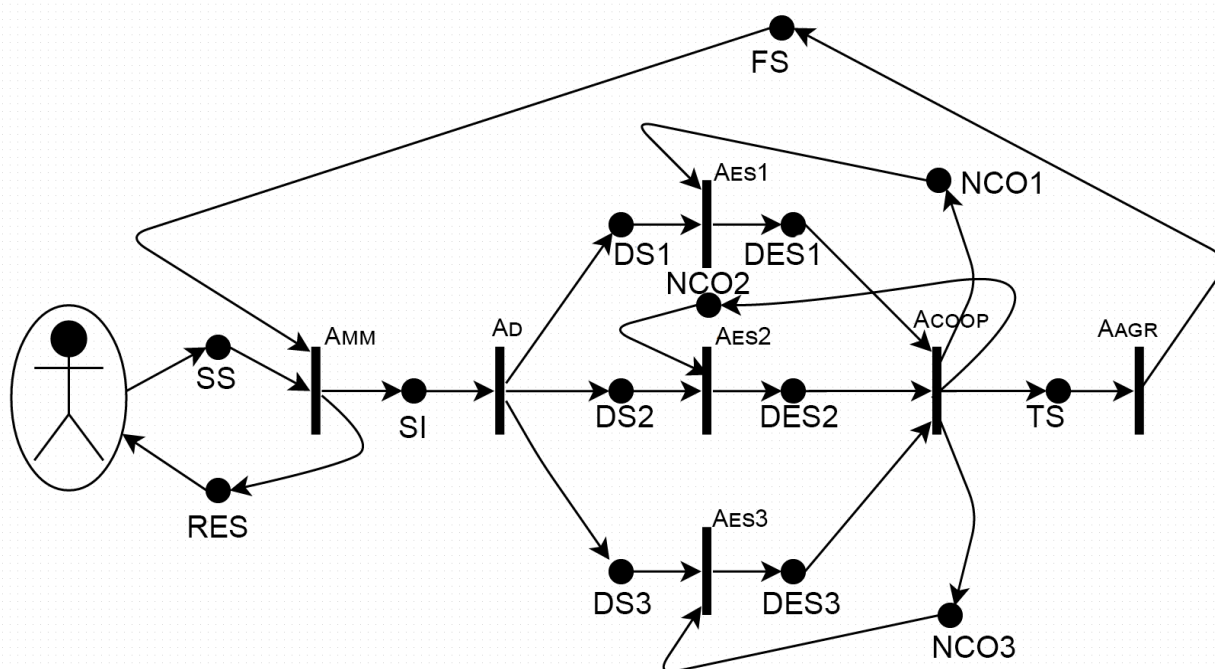


Рис. 3. Joiner-сеть агентного сценария

Процессы:

Amm – Процесс работы главного модуля.

Ad – Процесс работы агента декомпозиции схемы.

Aes1, Aes2, Aes3 – Процесс работы агентов оценивания состояний.

Acoop – Процесс работы агента кооперации.

Aagr – Процесс работы агента агрегирования.

События:

SS – Пользователь отправил исходную схему.

SI – Передача исходных данных.

DS1, DS2, DS3 – Схема разделена на 3 подсистемы.

DES1, DES2, DES3 – Оценка состояний подсистем завершена.

NCO1, NCO2, NCO3 – Согласование между схемами не достигнуто.

TS – Согласование достигнуто.

FS – Исходная схема собрана из разделенных подсистем.

RES – Результаты отправлены пользователю.

Изображенную на рис. 3 схему можно представить в виде списка пусковых и флаговых функции. Эти функции описывают события, которые инициируют наступление процесса или свидетельствуют о его завершении.

Пусковые функции:

$$\Psi_{mm} = \frac{(SS \vee FS) \cdot \overline{SI}}{SI \cdot \overline{DS1} \cdot \overline{DS2} \cdot \overline{DS3}}$$

$$\Psi_{es_i} = (DS_i \vee NCO_i) \cdot \overline{DES_i}$$

$$\Psi_{coop} = \frac{(DES1 \cdot DES2 \cdot DES3) \cdot \overline{NCO1} \cdot \overline{NCO2} \cdot \overline{NCO3} \cdot TS}{TS \cdot FS}$$

Флаговые функции:

Φ_{mm} : SI := 1, SS:=0
 Φ_d : SI := 0, DS1:=1, DS2:=1, DS3:=1
 Φ_{es_i} : DS_i := 0, DES_i:=1
 Φ_{coop} : DES1:=0, DES2:=0, DES3:=0, NCO1:=1, NCO2:=1, NCO3:=1, TS:=1
 Φ_{agr} : TS := 0, FS:=1

5. Практическая реализация

Предложенная автором методика применяется для разработки многоагентной системы оценивания состояний ЭЭС. На данный момент был разработан агент декомпозиции исходных данных, содержащих непроверенную информацию о текущем режиме, по уровням напряжения. Для тестирования правильности работы данного агента к нему был добавлен пользовательский интерфейс, изображенный на рис. 4, в дальнейшем он будет добавлен в главный модуль.

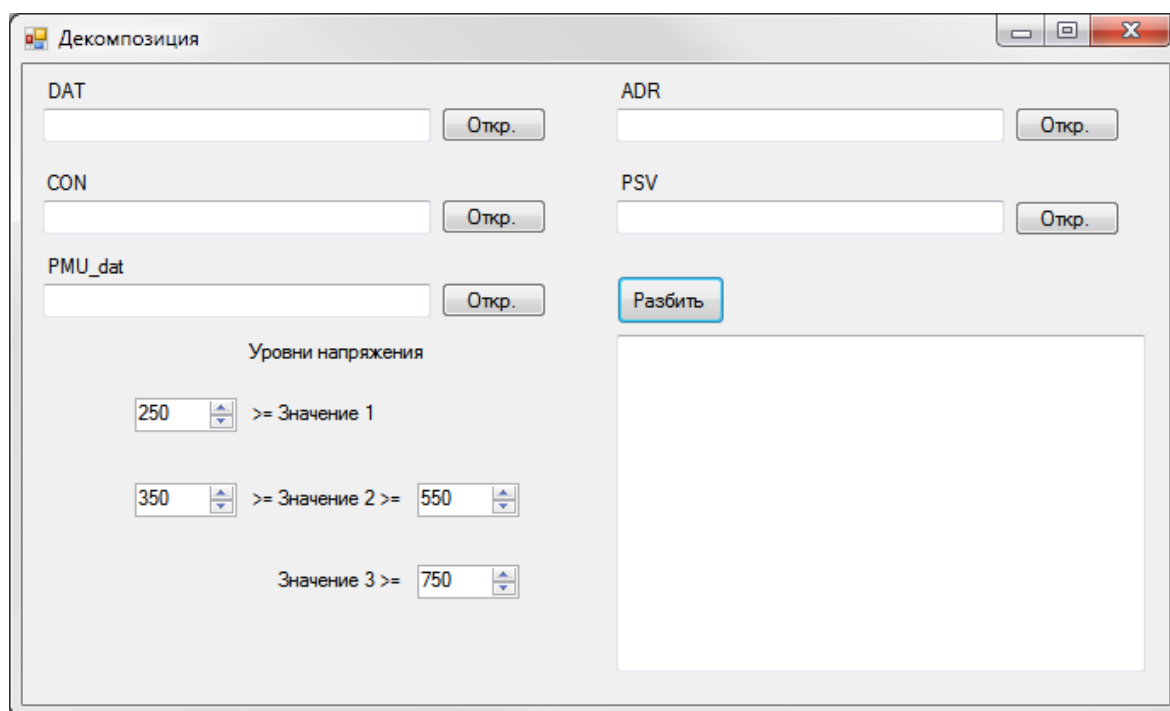


Рис. 4. Интерфейс агента декомпозиции.

Исходные данные для декомпозиции хранятся в 4-х файлах, которые в дальнейшем используются для расчетов в разработанном ранее ПВК «Оценка»:

- Dat – данные по узлам и связям базовой схемы.
- Adr – данные по составу ТИ, ТС и их адресам.
- Con – список программных констант.
- Psv – данные о псевдоизмерениях.

Задача вычислительного эксперимента заключается в том, чтобы провести декомпозицию файлов схемы по уровням напряжения. Реализацией декомпозиции занимается агент разбивки. Апробация его функционирования была проведена на примере схемы "Московского кольца". Была проведена декомпозиция схемы по уровням напряжения. Первая группа включала в себя узлы с напряжением от 750 Кв и выше, вторая группа состояла из узлов с напряжением от 550 Кв и ниже. В каждую группу также попадают граничные узлы и связи из соседствующей группы. Результаты декомпозиции представлены графически на рис 5.

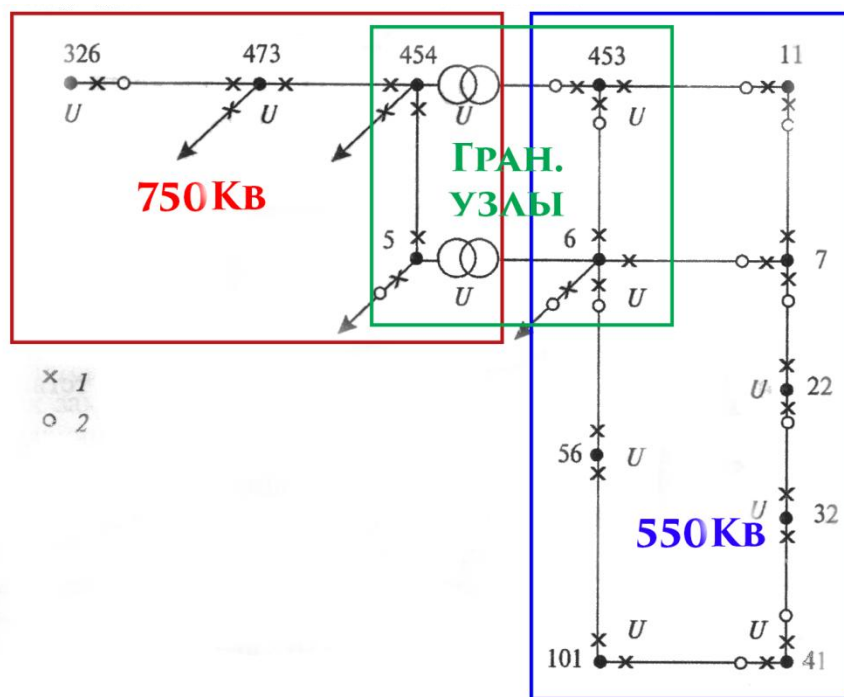


Рис 5. Схема «Московское кольцо» после декомпозиции.

Для сравнения был произведен расчет исходной (общей) схемы и получившихся групп. Результаты расчетов в ПВК «Оценка» представлены в таблице 1, для краткости в ней представлены сопоставления узлов только из первой группы. Полученные значения должны быть равны, либо незначительно отличаться. Как видно, разница между показателями минимальна, однако агент декомпозиции будет в дальнейшем дорабатываться для того, чтобы уменьшить эту разницу.

Таблица 1. Результаты расчетов

№ узла	Номинальное напряжение в Кв		Текущее значение напряжения в Кв	
	Общая схема	Первая группа	Общая схема	Первая группа
5	752.7	752.5	747.0	749.7
6	509.0	509.0	517.5	519.0
326	768.3	768.6	741.0	741.0
453	510.3	511.6	512.0	511.7
454	740.0	740.0	740.0	740.0
473	753.0	753.0	753.0	753.0

Заключение

В данной статье авторами предложена методика создания многоагентных систем, описан способ редактирования существующих и создания новых алгоритмов при помощи агентных сценариев, задаваемых пользователями-энергетиками. Предложено описывать агентные сценарии в многоагентной системе для оценивания состояний при помощи Joiner-сетей. В настоящее время предложенная методика тестируется на практике при создании многоагентной системы оценивания состояний ЭЭС. Новизна работы заключается в применении многоагентного подхода для решения задач в области энергетики и использовании событийного моделирования на основе Joiner-сетей для описания сценариев.

Работа выполнена при частичной финансовой поддержке грантов РФФИ №13-07-140, №14-07-116, №14-07-31268, №15-07-01284, №15-57-04074.

Список литературы

1. Гамм А.З., Герасимов Л.Н., Голуб И.И., Гришин Ю.А., Колосок И.Н. Оценивание состояния в электроэнергетике. М.: Наука, 1983. 302 с.
2. Гамм А.З. Статистические методы оценивания состояния электроэнергетических систем. М.: Наука, 1976. 220 с.
3. Кобец Б.Б., Волкова И.О. Инновационное развитие электроэнергетики на базе концепции Smart Grid. М.: ИАЦ «Энергия», 2010. 208 с.
4. Phadke A.G. Synchronized Phasor Measurements. A Historical Overview // IEEE/PES Transmission and Distribution Conference. Vol. 1. IEEE Publ., 2002. P. 476-479. DOI: [10.1109/TDC.2002.1178427](https://doi.org/10.1109/TDC.2002.1178427)
5. Гальперов В.И., Колосок И.Н., Массель Л.В., Пальцев А.С. Постановка задачи разработки мультиагентной системы для оценивания состояний ЭЭС с учетом структурной и функциональной декомпозиции // Труды XVIII Байкальской Всероссийской конференции «Информационные и математические технологии в науке и управлении». Ч. 3. Иркутск: ИСЭМ СО РАН, 2013. С. 231-234.
6. Многоагентные системы. 2014 // AI Portal: Портал искусственного интеллекта. Режим доступа: <http://www.aiportal.ru/articles/multiagent-systems/multiagent-systems.html> (дата обращения 15.04.2015).
7. FIPA Abstract Architecture Specification. Document no. SC00001L // FIPA TC Architecture. Foundation for Intelligent Physical Agents (FIPA), Geneva, Switzerland, 12 March 2002. Режим доступа: <http://www.fipa.org/specs/fipa00001/SC00001L.html> (дата обращения 01.08.2015).
8. Poslad S., Buckle P., Hadingham R. The FIPA-OS agent platform: Open Source for Open Standards // Proceedings of 5th International Conference and Exhibition on the Practical

- Application of Intelligent Agents and Multi-Agents (РААМ2000). Manchester, UK, 2000. P. 355-368.
9. JAVA Agent DEvelopment Framework: website. Режим доступа: <http://jade.tilab.com/> (дата обращения 15.04.2015).
10. Колосок И.Н., Пальцев А.С. Двухуровневый иерархический алгоритм оценивания состояния ЭЭС и его реализация на основе мультиагентного подхода // III Международная научно-практическая конференция «Энергосистема: управление, конкуренция, образование»: сб. докл. Т. 1. Екатеринбург: УГТУ-УПИ, 2008. С. 354-359.
11. Новик К.В. Сеть автоматов для моделирования асинхронного взаимодействия процессов: автореф. дис. ... канд. физ.-мат. наук. М., МФТИ, 2006. 22 с.
12. Норенков И.П., Кузьмик П.К. Информационная поддержка наукоемких изделий. CALS-технологии. М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2002. 320 с.
13. Столяров Л.Н., Новик К.В. Joiner-сеть для моделирования взаимодействующих параллельных процессов // Моделирование процессов управления: сб. науч. тр. М.: МФТИ, 2004. С. 81-97.
14. Столяров Л.Н., Новик К.В. Реализация параллельных процессов с помощью сетей Joiner-net // Информационные и математические технологии: сб. науч. тр. Иркутск: ИСЭМ СО РАН, 2004. С. 11-14.
15. Аршинский В.Л. Joiner-сети как инструмент управления взаимодействием агентов в мультиагентном программном комплексе // Системные исследования в энергетике: тр. молодых ученых ИСЭМ СО РАН. Вып. 39. Иркутск: ИСЭМ СО РАН, 2009. С. 147-151.

The Development of Multi-Agent System of State Estimation of Electric Power Systems Using Event Models

L.V. Massel¹, V.I. Galperov^{1,*}

^{*}galperov@gmail.ru

¹ESI SB RAS, Irkutsk, Russia

Keywords: agent, multi-agent systems, state estimation of EPS, agent-based scenarios, Smart Grid, Joiner-networks

The work objective is to offer a methodological approach to the development of multi-agent systems (MAS) in the energy sector. The agent approach is declared as an integral part of the Smart Grid concept (intelligent energy systems), but so far there is really neither methodological development and nor implementation in this area. The problem to estimate the states of electric power systems (EPS) is one of the most important in the energy sector. Decentralization of calculations, when estimating the EPS states, allows reducing the host control center load and the amount of data transferred through the network.

To achieve this aim were used the theory and methods for estimating the EPS state, artificial intelligence techniques, methods of object design and programming, multi-agent technologies, and algebraic Joiner-net network.

The work analyses existing agent-based solutions, reveals their weaknesses, and proposes author's approach to MAS development in the energy sector, which includes 5 steps: 1) description of the future system, 2) construction and description of the agent-based scenarios, 3) MAS architecture development 4) MAS engineering design 5) MAS implementation.

A novelty of the proposed approach lies in introduction of the agent interaction scenarios and application of Joiner-networks for scripting of scenarios. Agent-based scenarios allow non-programmers-experts to change the programme algorithm. A Joiner-network of the scenario consists of the functioning processes of agents (nodes), and the events that trigger or end the process. Output event of one process can be the input event for another.

The operation algorithm of the EPS estimation system is developed. The first step is to provide decomposition of a nodalization diagram into the areas corresponding to the levels of node voltages. Then diagrams resulting from decomposition are distributed between the agents of EPS estimation and calculated in parallel. At the next stage, all diagrams are connected again to become a single one. The paper presents future system architecture, shows the Joiner-network of the agent-based scenarios describing operation algorithm of the system, and describes starting and flag functions. A breakdown agent is designed to be responsible for diagram decomposition

into separate subsystems. Computational experiment based on the illustrative model was conducted.

The described approach is used to develop the specific MAS for estimating EPS states, but it cannot be replicated to solve other typical problems. Its using enables making changes in existing system, scaling and adding functionality without any need to edit the source code of already existing modules.

References

1. Gamm A.Z., Gerasimov L.N., Golub I.I., Grishin Yu.A., Kolosok I.N. *Otsenivanie sostoyaniya v elektroenergetike* [State estimation in electric power]. Moscow, Nauka Publ., 1983. 302 p. (in Russian).
2. Gamm A.Z. *Statisticheskie metody otsenivaniya sostoyaniya elektroenergeticheskikh system* [Statistical methods for state estimation of electric power systems]. Moscow, Nauka Publ., 1976. 220 p. (in Russian).
3. Kobets B.B., Volkova I.O. *Innovatsionnoe razvitie elektroenergetiki na baze kontseptsii Smart Grid* [Innovative development of electric power based on the concept of Smart Grid]. Moscow, Publishing center "Energy", 2010. 208 p. (in Russian).
4. Phadke A.G. Synchronized Phasor Measurements. A Historical Overview. *IEEE/PES Transmission and Distribution Conference. Vol. 1*. IEEE Publ., 2002, pp. 476-479. DOI: [10.1109/TDC.2002.1178427](https://doi.org/10.1109/TDC.2002.1178427)
5. Gal'perov V.I., Kolosok I.N., Massel' L.V., Pal'tsev A.S. Development of a multiagent system for power grid state estimation including structural and functional decomposition. *Trudy 18 Baikal'skoi Vserossiiskoi konferentsii "Informatsionnye i matematicheskie tekhnologii v nauke i upravlenii". Ch. 3* [Proceedings of the 18th Baikal All-Russian Conference "Information technology and mathematics in science and management". Pt. 3]. Irkutsk, Melentiev Energy Systems Institute of Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences Publ., 2013, pp. 231-234. (in Russian).
6. Multi-agent systems. 2014. AI Portal: portal of artificial intelligence. Available at: <http://www.aiportal.ru/articles/multiagent-systems/multiagent-systems.html> , accessed 15.04.2015. (in Russian).
7. FIPA Abstract Architecture Specification. Document no. SC00001L. *FIPA TC Architecture*. Foundation for Intelligent Physical Agents (FIPA), Geneva, Switzerland, 12 March 2002. Available at: <http://www.fipa.org/specs/fipa00001/SC00001L.html> , accessed 01.08.2015.
8. Poslad S., Buckle P., Hadingham R. The FIPA-OS agent platform: Open Source for Open Standards. *Proceedings of 5th International Conference and Exhibition on the Practical Application of Intelligent Agents and Multi-Agents (PAAM2000)*. Manchester, UK, 2000, pp. 355-368.
9. JAVA Agent DEvelopment Framework: website. Available at: <http://jade.tilab.com/> , accessed 15.04.2015.

10. Kolosok I.N., Pal'tsev A.S. Two-level hierarchical state estimation algorithm EES and its implementation based on multi-agent approach. *3 Mezhdunarodnaya nauchno-prakticheskaya konferentsiya "Energosistema: upravlenie, konkurentsia, obrazovanie": sb. dokl. T. 1* [Proc. of the 3rd International scientific-practical conference "Power system: management, competition, education". Vol. 1]. Ekaterinburg, Ural State Technical University Publ., 2008, pp. 354-359. (in Russian).
11. Novik K.V. *Set' avtomatov dlya modelirovaniya asinkhronnogo vzaimodeistviya protsessov. Avtoreferat kand. diss.* [Automatic machines network to simulate asynchronous communication processes. Abstract of cand. diss.]. Moscow, MIPT, 2006. 22 p. (in Russian).
12. Norenkov I.P., Kuz'mik P.K. *Informatsionnaya podderzhka naukoemkikh izdelii. CALS-tekhologii* [Informational support of science-intensive products. CALS-technologies]. Moscow, Bauman MSTU Publ., 2002. 320 p. (in Russian).
13. Stolyarov L.N., Novik K.V. Joiner-network to simulate the interaction of parallel processes. *Modelirovanie protsessov upravleniya: sb. nauch. tr.* [Management processes modelling: collection of scientific papers]. Moscow, MIPT Publ., 2004, pp. 81-97. (in Russian).
14. Stolyarov L.N., Novik K.V. Realization of parallel processes through networks Joiner-net. *Informatsionnye i matematicheskie tekhnologii: sb. nauch. tr.* [Information and Mathematical Technologies: collection of scientific papers]. Irkutsk, Melentiev Energy Systems Institute of Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences Publ., 2004, pp. 11-14. (in Russian).
15. Arshinskii V.L. Joiner-network as a tool to control the interaction of agents in multi-agent software systems. *Sistemnye issledovaniya v energetike: tr. molodykh uchenykh ISEM SO RAN. Vyp. 39* [System Research in Energy: proceedings of young scientists of Melentiev Energy Systems Institute of Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences. Is. 39]. Irkutsk, Melentiev Energy Systems Institute of Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences Publ., 2009, pp. 147-151. (in Russian).