

Распределенное многоагентное моделирование СЛОЖНЫХ СИСТЕМ

Г. В. Верхова¹, С. В. Акимов²

Санкт-Петербургский государственный университет
телекоммуникаций им. проф. М.А. Бонч-Бруевича
(СПбГУТ)

¹galina500@inbox.ru, ²akimov-sv@yandex.ru

С. П. Присяжнюк

ЗАО «Институт телекоммуникаций»
Санкт-Петербург, Россия
office@itain.ru

Аннотация. Многоагентное моделирование сложных систем представляет собой задачу, требующую представления знаний из различных областей науки и техники, а также формализмов, обеспечивающих такое представление. Многоагентное моделирование требует создание сложного программного обеспечения, обеспечивающего представление знаний из различных областей науки и техники, интеграцию этих знаний в единую систему, а также значительных вычислительных мощностей. Особенности задачи многоагентного моделирования сложных систем обуславливают использование методов и технологий распределенного моделирования. В статье изложен подход к распределенному многоагентному моделированию сложных систем, базирующейся на комплексных и интегративных моделях. Предложена микросервисная архитектура распределенной среды многоагентного моделирования сложных систем, допускающая глубокую интеграцию в единую киберсреду постиндустриального общества.

Ключевые слова: многоагентное моделирование, моделирование сложных систем, распределенное моделирование, микросервисная архитектура, комплексные модели, интегративные модели, киберсреда

I. ВВЕДЕНИЕ

Многоагентное моделирование сложных систем представляет собой задачу, требующую представления гетерогенных знаний с привлечением формализмов, относящихся к различным классам. Прикладное многоагентное моделирование требует создания сложнейшего программно-алгоритмического обеспечения, которое базируется на достижениях из различных областей науки и техники, включая теорию искусственного интеллекта, прикладную математику, исследование операций, теорию алгоритмов.

Программно-алгоритмическое обеспечение многоаспектного моделирования сложных систем требует значительных вычислительных ресурсов, которые не всегда могут быть предоставлены современными настольными рабочими станциями. Исходя из специфики задачи, многоаспектное моделирование требует одновременного использования большого числа пакетов программ, включая различные системы компьютерного моделирования. Учитывая все вышесказанное, программное обеспечение многоаспектного моделирования, имеющее монолитную архитектуру,

окажется излишне сложным и будет иметь стоимость, которая окажется неприемлемой для подавляющего большинства потенциальных пользователей.

Альтернативой «сосредоточенному» многоаспектному моделированию сложных систем является концепция распределенного многоаспектного моделирования. Распределенное моделирование продемонстрировало эффективность при решении задач в различных областях [1–5]. Концепция распределенного моделирования может быть эффективно реализована в виде мультиагентной системы [6–11]. Учитывая, что многоаспектное моделирование является развитием одноаспектного моделирования, можно полагать, что система распределенного многоаспектного моделирования может быть реализовано с привлечением методов и технологий мультиагентных систем.

II. МЕТОД РАСПРЕДЕЛЕННОГО МНОГОАГЕНТНОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ СЛОЖНЫХ СИСТЕМ

Многоаспектная модель может быть представлена в виде множества аспектов, формализмов и комплексов программ, реализующих данные формализмы [12–13]:

$$CXM = \langle A, F, Prog, R_{A-F}, R_{F-Prog} \rangle, \quad (1)$$

где: A – множество аспектов, отражающих различные стороны (точки зрения на объект) моделируемой системы;

F – множество формализмов, обеспечивающих представление аспектов A ;

$Prog$ – множество пакетов программ (систем компьютерного моделирования), реализующих формализмы F ;

R_{A-F} – множество связей аспект – формализм;

R_{F-Prog} – множество связей формализм – программно-алгоритмическое обеспечение.

Выражение (1) можно модифицировать на случай распределенного многоаспектного моделирования сложных систем, концепция которого представлена на рис. 1:

$$DCXM = \langle S, A, F, Agents, R_{S-A}, R_{A-F}, R_{F-Agent}, A_{Agent-Agent} \rangle, \quad (2)$$

где: S – множество моделируемых систем;

Agents – множество агентов первого, второго и третьего порядка, реализующих формализмы, обеспечивающие представление отдельных аспектов;

R_{S-A} – множество связей «моделируемая система – аспект»;

$R_{F-Agent}$ – множество связей «формализм – аспект»;

$A_{Agent-Agent}$ – множество связей между агентами различных порядков.

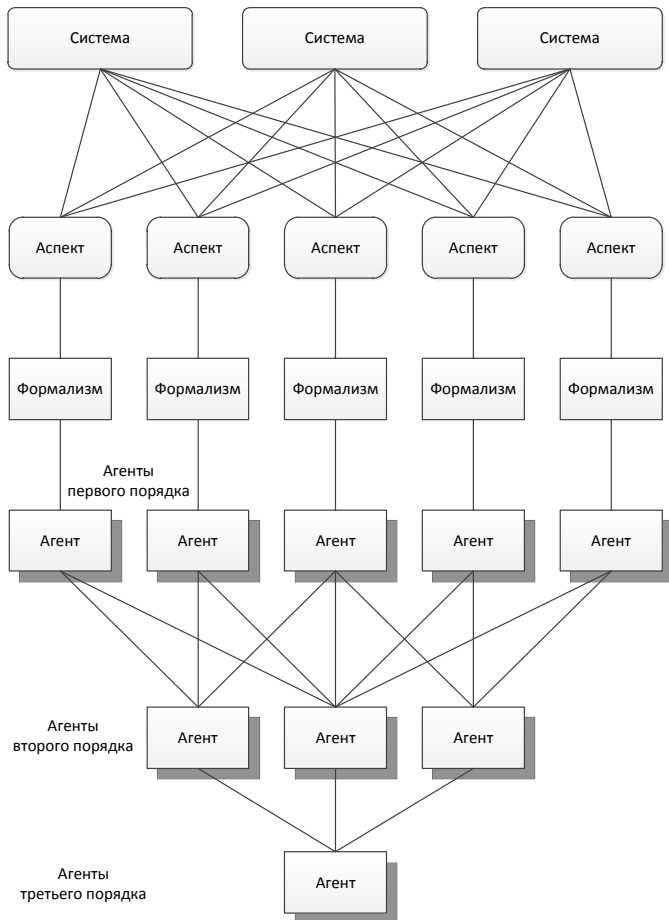


Рис. 1. Концепция распределенного мультиагентного моделирования сложных систем

Агенты первого порядка реализуют формализмы, обеспечивающие представление отдельно взятых аспектов. Агенты более высоких порядков обеспечивают абстракции более высоких уровней, например комплексные и интегративные модели, а также системы многоаспектного моделирования отдельных предметных областей или технических устройств, систем и комплексов.

III. МИКРОСЕРВИСНАЯ АРХИТЕКТУРА СИСТЕМЫ РАСПРЕДЕЛЕННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ

Многоаспектное моделирование сложных систем, представленное в виде мультиагентной системы, позволяет выполнить теоретическое исследование данного процесса с привлечением хорошо разработанного теоретико-методологического аппарата. Однако прикладное

распределенное многоаспектное моделирование сложных систем требует привлечения технологии, позволяющей обеспечить формирование среды, в которой будет выполняться данное моделирование. Такой технологией является технология разработки распределенных программных систем, базирующихся на микросервисной архитектуре [14–17].

Микросервисная архитектура представляет собой вариант сервис-ориентированной архитектуры, предполагающий декомпозицию системы на слабо связанные, легко модифицируемые и заменяемые модули (микросервисы).

Микросервисная архитектура среды многоаспектного моделирования сложных систем, реализующая модель, представленную выражением (2), приведена на рис. 2.

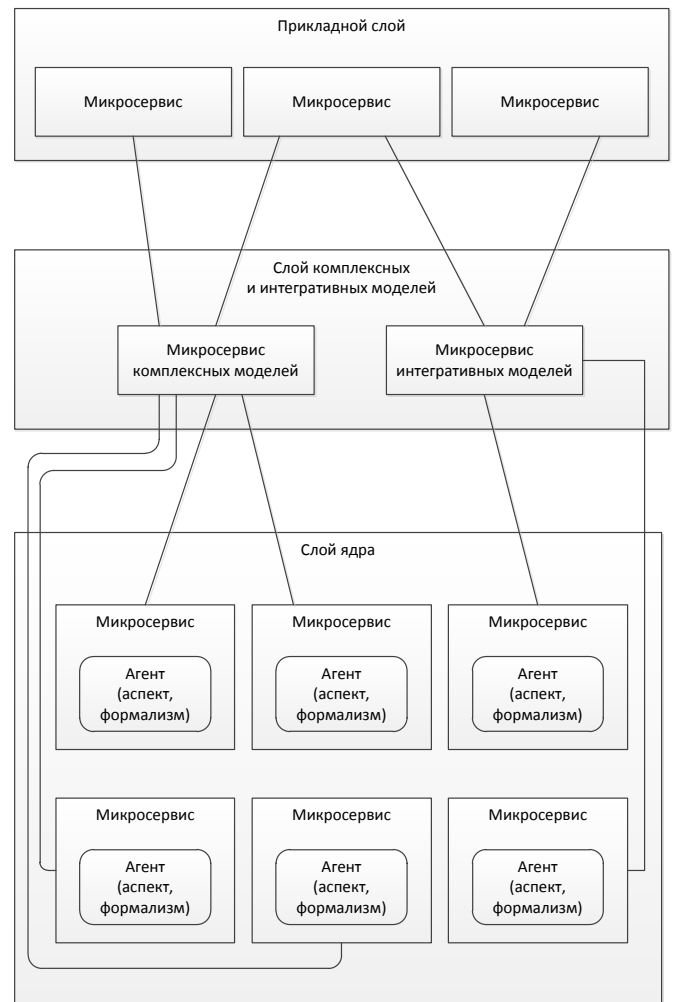


Рис. 2. Микросервисная архитектура среды многоаспектного моделирования сложных систем

Достоинствами микросервисной архитектуры являются:

- отдельные микросервисы допускают простую замену;

- микросервисы организованы вокруг отдельных контекстов;
- микросервисы могут быть реализованы с использованием различных языков программирования, фреймворков, связующего программного обеспечения;
- зависимости между микросервисами одноранговые.

Микросервисная архитектура обеспечивает возможность реализации распределенного многоаспектного моделирования сложных систем в виде киберсреды многоаспектного моделирования, которая является неотъемлемой частью единой киберсреды постиндустриального общества.

IV. СЕРВИСЫ КОМПЛЕКСНОГО МНОГОАСПЕКТНОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ СЛОЖНЫХ СИСТЕМ

Многоаспектная модель класса системных объектов может быть представлена в виде системы комплексных и интегративных моделей [18]. Комплексная модель описывает класс объектов на уровне системных аспектов и отдельно взятый объект на уровне всех аспектов, подлежащих рассмотрению, и для которых имеются обеспечивающие их формализмы. Комплексная модель призвана объединить множество математических и компьютерных моделей, представляющих различные аспекты объектов, в единое целое. Комплексные модели не подменяют другие типы моделей (на основе уравнений математической физики, имитационные, статистические модели), они являются своеобразной надстройкой над ними.

На рис. 3 представлен процесс распределенного моделирования иерархической системы с помощью комплексных моделей, реализованных в системе компьютерного моделирования, имеющей микросервисную архитектуру.

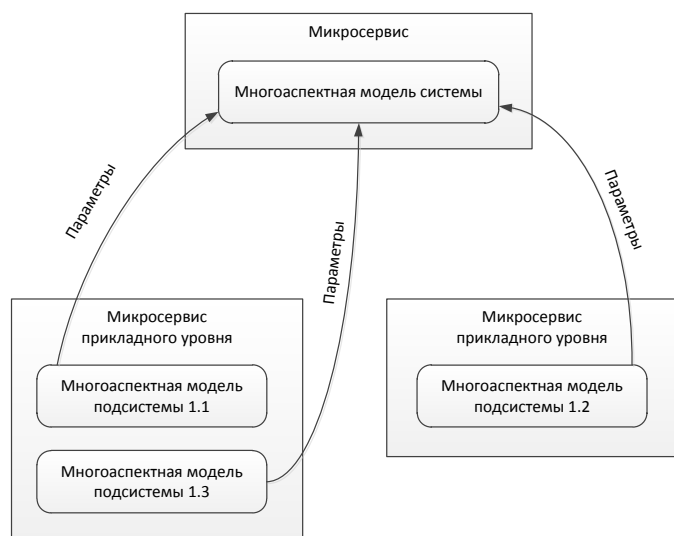


Рис. 3. Распределенной моделирование иерархической системы с помощью системы компьютерного моделирования, имеющей микросервисную архитектуру

Из рисунка 3 видно, что несколько однотипных подсистем могут моделироваться в рамках одного микросервиса. Результаты математического моделирования, выполненного в микросервисах, моделирующих подсистемы, передаются в микросервис, моделирующий систему в целом.

V. СЕРВИСЫ ИНТЕГРАТИВНОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ

Интегративная модель представляет собой оптимизационную модель со структурно-параметрическим управлением. Являясь наиболее полной моделью некоторого класса объектов, интегративная модель содержит механизмы формализованного представления технико-экономических требований, заданное интенционально множество структурно-параметрических решений, методы вычисления всех интересующих характеристик системы, а также алгоритм решения многокритериальной оптимизационной задачи (3):

$$Integr = \langle MSO^U, Req^U, S^{Sel}, P^{Sel}, Op^{Opt} \rangle, \quad (3)$$

где:

MSO^U – универсальная модель, представляющая собой интенционально заданное множество математических моделей всех вариантов систем, принадлежащих некоторому классу;

Req^U – формализованное задание технико-экономических требований для данного класса систем;

S^{Sel} – решение, выбираемое лицом принимающим решение, (ЛПР) на множестве MSO^U ;

P^{Sel} – технико-экономические характеристики спроектированной системы S^{Sel} ;

Op^{Opt} – оператор, позволяющий найти S^{Sel} с учетом Req^U .

Пример распределенного оптимизационного многоаспектного моделирования иерархической системы на базе интегративных моделей представлен на рис. 4. Лицо, принимающее решение, формирует требования к системе с помощью формализмов Req^U . Интегративная модель системы формирует требования к подсистемам второго уровня (требования 2.1, 2.2 и 2.3). Данные требования заносятся в интегративные модели данных подсистем, представленных также, как и система, интегративными моделями (3). Результаты оптимизации P^{Sel} , представляющие собой параметры полученного решения S^{Sel} , передаются в интегративную модель верхнего уровня (интегративную модель системы). Лицо, принимающее решение, анализирует полученные результаты и принимает решение о продолжении решения оптимизационной задачи или завершения процесса проектирования.

Как и в случае с комплексными моделями, агенты, представляющие интегративные модели, могут быть реализованы в виде микросервисов. Интегративные модели являются надстройкой над комплексными моделями в процессе решения оптимизационной задачи

обращаются к сервисам, реализующим комплексные модели. Таким образом, мы получаем возможность создания среды многоаспектного моделирования, имеющей общую микросервисную архитектуру, в рамках которой можно решать как задачи анализа, так и задачи синтеза.

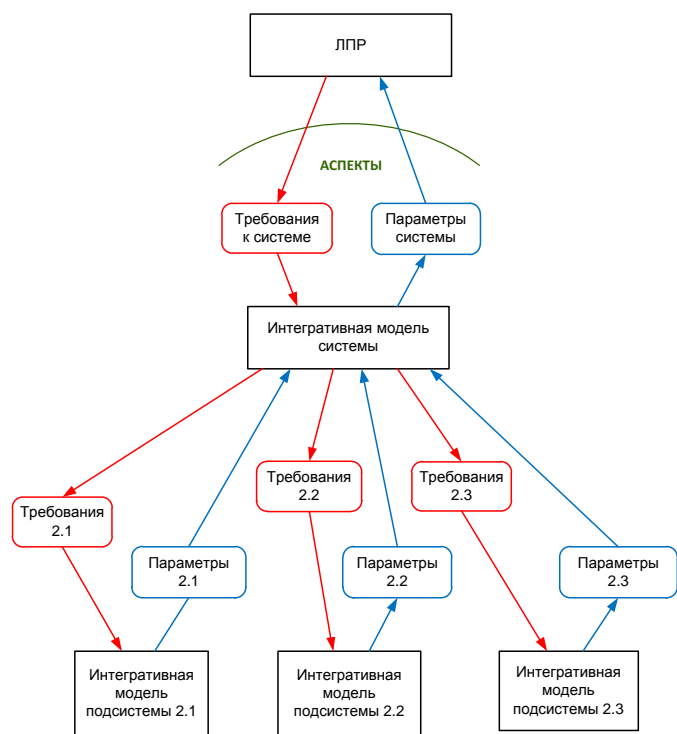


Рис. 4. Распределенное оптимизационное многоаспектное моделирование иерархической системы

VI. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В статье представлен подход к распределенному многоагентному моделированию сложных систем, базирующейся на комплексных и интегративных моделях. Показано, что отдельные аспекты, комплексные и интегративные модели, а также знания об отдельных областях науки и техники могут быть представлены в виде агентов, которые, в свою очередь, могут быть реализованы в виде микросервисов. Микросервисная архитектура позволяет сформировать распределенную среду многоаспектного моделирования, которая станет неотъемлемой частью формируемой единой киберсреды постиндустриального общества.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

[1] T. Górski and J. Bednarski, "Applying Model-Driven Engineering to Distributed Ledger Deployment," in *IEEE Access*, vol. 8, pp. 118245-118261, 2020, doi: 10.1109/ACCESS.2020.3005519.

[2] V. V. Dubaylova, N. D. Mukhlynin and O. J. Polyakova, "Distributed Generation Control in Energy Market Conditions Using Advanced Model Predictive Control," 2019 16th Conference on Electrical Machines, Drives and Power Systems (ELMA), 2019, pp. 1-4, doi: 10.1109/ELMA.2019.8771696.

[3] J. Wang and C. Zhang, "Analysis and Evaluation of the GAS Model for Distributed Graph Computation," 2017 IEEE 37th International

Conference on Distributed Computing Systems Workshops (ICDCSW), 2017, pp. 283-285, doi: 10.1109/ICDCSW.2017.27.

[4] G. Qingying, Z. Yanjie and C. Zheang, "Application of VAR Model based on Distributed Least Squares Estimation Algorithm," 2020 International Conference on Information Science, Parallel and Distributed Systems (ISPDS), 2020, pp. 329-332, doi: 10.1109/ISPDS51347.2020.00076.

[5] T. Hartmann, A. Moawad, F. Fouquet, G. Nain, J. Klein and Y. Le Traon, "Stream my models: Reactive peer-to-peer distributed models@run.time," 2015 ACM/IEEE 18th International Conference on Model Driven Engineering Languages and Systems (MODELS), 2015, pp. 80-89, doi: 10.1109/MODELS.2015.7338238.

[6] B. Klebanov, T. Antropov and E. Riabkina, "The principles of multi-agent models of development based on the needs of the agents," 2016 35th Chinese Control Conference (CCC), 2016, pp. 7551-7555, doi: 10.1109/ChiCC.2016.7554553.

[7] H. Elbaz, A. Elhilali Alaoui and G. Bencheikh, "The synchronization bus timetabling problem, modeling and resolution by the multi-agent approach," 2018 4th International Conference on Logistics Operations Management (GOL), 2018, pp. 1-6, doi: 10.1109/GOL.2018.8378098.

[8] H. Ming and W. Fei, "A New Multi-Agent Model of Workshop Scheduling," 2018 IEEE 3rd International Conference on Cloud Computing and Internet of Things (CCIOT), 2018, pp. 25-29, doi: 10.1109/CCIOT45285.2018.9032612.

[9] Z. Xu and D. Zhang, "Containment control for discrete-time multi-agent systems with T-S fuzzy model," 2017 Eighth International Conference on Intelligent Control and Information Processing (ICICIP), 2017, pp. 173-178, doi: 10.1109/ICICIP.2017.8113937.

[10] M. I. Brusakov, "Multi-agent control model for IT services on digital enterprise," 2018 IEEE Conference of Russian Young Researchers in Electrical and Electronic Engineering (EIConRus), 2018, pp. 1249-1250, doi: 10.1109/EIConRus.2018.8317320.

[11] N. Rozhentsova, O. Regir, A. Kotsubinski and L. Fetisov, "Development of a Multi-Agent Model of Electric Power Consumer," 2019 International Conference on Electrotechnical Complexes and Systems (ICOECS), 2019, pp. 1-4, doi: 10.1109/ICOECS46375.2019.8949937.

[12] S. V. Akimov and G. V. Verkhova, "The four-level integrative model methodology of structural and parametric synthesis of system objects," 2016 XIX IEEE International Conference on Soft Computing and Measurements (SCM), 2016, pp. 321-323, doi: 10.1109/SCM.2016.7519769.

[13] S. V. Akimov and G. V. Verkhova, "The linguistic support of morphological set modeling," 2016 XIX IEEE International Conference on Soft Computing and Measurements (SCM), 2016, pp. 337-340, doi: 10.1109/SCM.2016.7519774.

[14] G. A. Oparin, V. G. Bogdanova, A. A. Pashinin and S. A. Gorsky, "Microservice-oriented Approach to Automation of Distributed Scientific Computations," 2019 42nd International Convention on Information and Communication Technology, Electronics and Microelectronics (MIPRO), 2019, pp. 236-241, doi: 10.23919/MIPRO.2019.8757053.

[15] A. Aizstrauts, D. Burkhardt, E. Ginters and K. Nazemi, "On Microservice Architecture Based Communication Environment for Cycling Map Developing and Maintenance Simulator," 2020 61st International Scientific Conference on Information Technology and Management Science of Riga Technical University (ITMS), 2020, pp. 1-4, doi: 10.1109/ITMS51158.2020.9259299.

[16] L. Bao, C. Wu, X. Bu, N. Ren and M. Shen, "Performance Modeling and Workflow Scheduling of Microservice-Based Applications in Clouds," in *IEEE Transactions on Parallel and Distributed Systems*, vol. 30, no. 9, pp. 2114-2129, 1 Sept. 2019, doi: 10.1109/TPDS.2019.2901467.

[17] H. Chen, P. Chen and G. Yu, "A Framework of Virtual War Room and Matrix Sketch-Based Streaming Anomaly Detection for Microservice Systems," in *IEEE Access*, vol. 8, pp. 43413-43426, 2020, doi: 10.1109/ACCESS.2020.2977464.

[18] Акимов С.В., Верховая Г.В., Меткин Н.П. Теоретические основы CALS. СПб: Издательство СПбГУТ, 2018. 263 стр.