

Характеристики систем
System characteristics

Система моделирования	Имитация физических свойств объекта	Реализация библиотек элементов робота	Наличие поддержки коммуникации между агентами	Поддержка большого количества агентов	Уровень поддержки	Поддержка вычислений на кластерах	Наличие социально ориентированных библиотек
Myrmedrome	-	-	+	+	-	-	+
AntMe	-	-	-	+	+-	-	+
NetLogo: Ants	-	-	-	+	+	-	+
AnyLogic	-	-	+	+	+	-	-
Simplex3	-	-	-	+	-	-	-
Repast	-	-	-	+	+-	+	+
Webots	+	+	+	-	+	-	-
Gazebo	+	+	-	-	+-	-	-
ARGoS	+	+	+	+	-+	-	-

поддержки коммуникации между агентами – моделирование общения (связи) между агентами и предоставление стандартного интерфейса определения протокола и сообщений; поддержка большого количества агентов – приспособленность системы для работы с большими (порядка 1 000, 10 000) группами роботов; уровень поддержки – суммарная оценка качества пользовательской документации, уровня поддержки со стороны сообщества и разработчиков, интуитивность работы с системой, документированность кода (в случае открытого кода); поддержка вычислений на кластерах – встроенная возможность работы системы на кластере; наличие социально ориентированных библиотек – предоставление встроенных или пользовательских библиотек, реализующих хотя бы некоторые из социальных механизмов.

Еще раз отметим, что в обзор попали лишь некоторые системы, характерные для своего класса, интересные с точки зрения критериев, определенных спецификой задач социальной робототехники. Отдельно можно сказать о таких известных и часто упоминаемых системах моделирования, как Microsoft Robotics Developer Studio (MRDS) [42] и Ant Farm Simulator, которые наряду с некоторыми другими не попали в обзор, так как или относятся к одному из рассмотренных классов, или предназначены для решения других категорий задач агентного моделирования, например транспортных, логистических и т.д.

Заключение

Сравнительный анализ приведенных программных продуктов показывает, что они лишь частично удовлетворяют специфике моделирования многоагентных робототехнических систем и искусственных коллективов с социальной структурой, и позволяет составить более точные требования к такой среде моделирования.

ПО моделирования биологических коллективов обладает весьма ограниченным набором возможностей и расширяемостью, а также зачастую не задумывалось как библиотека моделирования для

изучения коллективного управления. Исключением является модель Ants для NetLogo, но она тоже не предоставляет особых средств для реализации многих важных механизмов коллективов с социальной структурой.

Несмотря на универсальность и мощность, в средах разработки и библиотеках имитационного моделирования не хватает хотя бы некоторых из следующих элементов: индивидуальные психические различия агентов, поддержка локальной коммуникации, языковое общение, алгоритмы формирования коалиций, дифференциация функций, выделение иерархической структуры, поддержка пространственных и временных отношений.

ПО моделирования роботов больше подходит для отдельных роботов и физических эффектов, а не для систем с большим количеством агентов либо имеет те же проблемы, что и системы имитационного моделирования: специальные средства для моделирования коллективов с социальной структурой не предоставляются, что означает необходимость исследователю самостоятельно реализовывать многочисленные механизмы.

На основе проведенного обзора можно сформулировать следующие функциональные требования к библиотеке (или среде) моделирования для коллективов с социальной структурой в области робототехники:

- масштабируемость, возможность моделирования с применением вычислительных кластеров и соответствующая поддержка со стороны библиотеки (пользователь, насколько это возможно, не должен следить за распараллеливанием кода и синхронизацией);

- поддержка определенного функционала, свойственного агентным системам, и его предоставление в виде библиотек: агент, взаимодействие между агентами, среда, законы взаимодействия со средой, пространство, время;

- реализация некоторых базовых механизмов социального поведения и структур и поддержка дополнения и расширения таких механизмов, как индивидуальные психические различия, дифференциация функций и т.п.;

– поддержка создания моделей внутреннего и внешнего мира агента;

– поддержка модели из нескольких взаимодействующих коллективов.

Кроме того, выделим дополнительные технические требования, которые представляются важными для использования системы различными группами исследователей:

– предоставление инструментов или интерфейсов для интеграции кода в сторонний пользовательский графический интерфейс и визуализации данных, а также базового варианта интерфейса;

– экспорт данных в общепринятые, открытые форматы (CSV, GraphML и т.п.), позволяющие интеграцию с другими инструментами;

– открытость кода для чтения (Open source [43]), соблюдение стилей и наличие хорошей документации: хорошо описанное API, ее общее устройство (архитектура, концепции);

– открытость кода для модификации, поддержка плагинов или иных стандартных способов расширения функциональности для исправления ошибок пользователями и возможности расширения до большего класса поддерживаемых систем.

Таким образом, проведенный обзор существующих систем моделирования для изучения робототехнических коллективов с социальной структурой позволил сформулировать требования к желаемой системе и выявил неудовлетворенную потребность в наличии специализированной системы агентного моделирования, учитывающей их особенности.

Работа выполнена при частичной финансовой поддержке грантов РНФ № 16-11-00018 и РФФИ № 16-29-04412 офи_м.

Литература

- Карпов В.Э. Модели социального поведения в групповой робототехнике // Управление большими системами. 2016. № 59. С. 165–232.
- Захаров А.А. Муравей, семья, колония. М.: Наука, 1978. 144 с.
- Adamatzky A., Komosinski M. (eds.). Artificial life models in software. Springer, London, 2009, no. 2, 441 p.
- Allan R. Survey of agent based modelling and simulation tools. 2009. URL: <http://www.grids.ac.uk/Complex/ABMS/> (дата обращения: 08.01.2017).
- Kravari K., Bassiliades N. A survey of agent platforms. J. Artif. Soc. Soc. Simul., 2015, vol. 18, no. 1, p. 11.
- Nikolai C., Madey G. Tools of the trade: a survey of various agent based modeling platforms. J. Artif. Soc. Soc. Simul., 2009, vol. 12, no. 2, p. 2.
- Длусский Г.М. Муравьи рода формика. М.: Наука, 1967. 236 с.
- Тинберген Н. Социальное поведение животных; [под ред. П.В. Симонова]. М.: Мир, 1993. 152 с.
- Гудолл Д. Шимпанзе в природе: поведение. М.: Мир, 1992. 670 с.
- Karpov V., et al. Multi-robot exploration and mapping based on the subdefinite models. Lecture Notes in Comp. Sc.: Ronzhin A., Rigol G., Meshcheryakov R. (eds.), Springer, 2016, vol. 9812, pp. 143–152.
- Карпова И.П. Псевдоаналоговая коммуникация в группе роботов // Мехатроника, автоматизация, управление. 2016. Т. 17. № 2. С. 94–101.
- Kulinich A.A. A model of agents (robots) command behavior: the cognitive approach. Autom. Remote Control. 2016, vol. 77, no. 3, pp. 510–522.
- Кулинич А.А. Модель командной работы агентов с BDI архитектурой // КИИ-2016: сб. тр. XV Национальн. конф. 2016. С. 344–352.
- Bongard J., Zykov V., Lipson H. Resilient machines through continuous self-modeling. Science, 2006, vol. 314, no. 5802, pp. 1118–1121.
- Ровбо М.А. Распределение ролей в гетерогенном муравьино-подобном коллективе // КИИ-2016: сб. тр. XV Национальн. конф. 2016. Т. 2. С. 363–371.
- Воробьев В.В. Алгоритм кластеризации коллектива роботов // Беспилотные транспортные средства с элементами искусственного интеллекта: сб. тр. III Всерос. науч.-практич. сем. Иннополис, 2015. С. 50–59.
- Purushotham Muniganti, Albert Oller Pujol. A survey on mathematical models of swarm robotics. Proc. Conf. Workshop on Physical Agents. 2010. URL: https://www.researchgate.net/publication/230793772_A_Survey_on_Mathematical_models_of_Swarm_Robotics (дата обращения: 08.01.2017).
- Бондаревский А.С., Лебедев А.В. Имитационное моделирование: определение, применимость и техническая реализация // Фундаментальные исследования. 2011. № 12–3. С. 535–541.
- Économou M., et al. Aints. 2010. URL: <http://a-i-nts.blogspot.ru/2010/03/presentation-of-aints.html> (дата обращения: 08.01.2017).
- Cristiani E. MYRMEDROME. 2016. URL: http://www.emilianocristiani.it/myrmedrome/main_en.html (дата обращения: 08.01.2017).
- Wendel T. AntMe. 2016. URL: <https://service.antme.net/> (дата обращения: 08.01.2017).
- AI Challenge Ants. 2011. URL: <http://ants.aichallenge.org/> (дата обращения: 08.01.2017).
- Sacace S., Cristiani E., D'Eustacchio D. Myrmedrome: simulating the life of an ant colony. Imagine Math 2: Between Culture and Mathematics, Springer Milan, 2013, pp. 201–210.
- Wilensky U. NetLogo. 1999. URL: <http://ccl.northwestern.edu/netlogo/> (дата обращения: 08.01.2017).
- Wilensky U. NetLogo Ants model. 1997. URL: <http://ccl.northwestern.edu/netlogo/models/Ants> (дата обращения: 08.01.2017).
- NetLogo Source Code. 2016. URL: <https://github.com/NetLogo/NetLogo> (дата обращения: 08.01.2017).
- Lytinen S.L., Railsback S.F. The evolution of agent-based simulation platforms: a review of NetLogo 5.0 and ReLogo. Eur. Meet. Cybern. Syst. Res., 2010, pp. 1–11.
- Borshchev A. The big book of simulation modeling: multi-method modeling with AnyLogic 6. Amazon Digital Services LLC, 2015, 614 p.
- SOI-Software. Simplex3. 2016. URL: <http://www.simplex3.net/Body/Introduction/English/indexAbstract.html> (дата обращения: 08.01.2017).
- Dörmhöfer K. Die Benutzerumgebung von SIMPLEX II – Eine offene graphische Bedienoberfläche zur Erstellung und Auswertung von Simulationsmodellen. Univ. Erlangen-Nürnberg, 1991, pp. 1–336.
- Eschenbacher P. Entwurf und Implementierung einer formalen Sprache zur Beschreibung dynamischer Modelle. Institut für Mathematische Maschinen und Datenverarbeitung, 1989, 328 s.
- Argonne National Laboratory. Repast Symphony. 2016. URL: http://repast.sourceforge.net/repast_symphony.php# (дата обращения: 08.01.2017).
- Argonne National Laboratory. Repast for High Performance Computing. 2016. URL: http://repast.sourceforge.net/repast_hpc.php# (дата обращения: 08.01.2017).
- Michel O. Webots TM: Professional Mobile Robot Simulation. Int. J. Adv. Robot. Syst., 2004, vol. 1, no. 1, pp. 39–42.
- Cyberbotics Ltd. Webots. 2016. URL: <https://www.cyberbotics.com/webots.php> (дата обращения: 08.01.2017).
- ROS Indigo Igloo. 2014. URL: <http://wiki.ros.org/indigo> (дата обращения: 08.01.2017).
- Smith R. Open Dynamics Engine. 2016. URL: <http://www.ode.org/> (дата обращения: 08.01.2017).

38. Koenig N., Howard A. Design and use paradigms for gazebo, an open-source multi-robot simulator. 2004 IEEE/RSJ Int. Conf. Intell. Robot. Syst., 2004, vol. 3, pp. 2149–2154.
39. Pinciroli C. et al. ARGoS: A modular, parallel, multi-engine simulator for multi-robot systems // Swarm Intell. 2012, vol. 6, no. 4, pp. 271–295.
40. The MIT License (MIT). 2016. URL: <https://opensource.org/licenses/MIT> (дата обращения: 08.01.2017).
41. Pinciroli C. et al. ARGoS: A modular, multi-engine simulator for heterogeneous swarm robotics // IEEE Int. Conf. Intell. Robot. Syst., 2011, pp. 5027–5034.
42. Microsoft. Microsoft Robotics Developer Studio 4. 2012. URL: <https://www.microsoft.com/en-us/download/details.aspx?id=29081> (дата обращения: 08.01.2017).
43. Open Source Initiative. The Open Source Definition. 2007. URL: <https://opensource.org/osd> (дата обращения: 08.01.2017).

Software & Systems

DOI: 10.15827/0236-235X.119.425-434

Received 30.01.17

2017, vol. 30, no. 3, pp. 425–434

REVIEW OF SIMULATION MODELING TOOLS FOR ROBOT GROUPS WITH SOCIAL ORGANIZATION ELEMENTS

*M.A. Rovbo*¹, *Research Engineer, rovboma@gmail.com*

*E.E. Ovsyannikova*¹, *Research Engineer, eeovsyann@yandex.ru*

*A.A. Chumachenko*², *Graduate Student, chumachenkoa93@mail.ru*

¹ *National Research Centre “Kurchatov Institute”, Akademika Kurchatova Sq. 1, Moscow, 123182, Russian Federation*

² *National Research University Higher School of Economics, Myasnitskaya St. 20, Moscow, 101000, Russian Federation*

Abstract. The paper discusses mechanisms that are important for a proper simulation of artificial agents' group, especially mobile robots, which are organized into a system with the elements of a social structure.

The authors provide an overview of simulation tools based on these requirements to determine advantages and disadvantages of existing systems for modeling, simulating and researching such systems. They identify key instruments for a simulation of artificial groups with social structures. The review focuses on simulation tools for biological systems (in particular, ants since they are a good example of a social group), agent-based modeling and robot-specialized simulation tools.

The paper emphasizes the level of support of various social mechanisms in simulation tools, as well as their capability to model a large number of agents (in particular, cluster computing support) and the ability to simulate user-provided models and implementations of different aspects of a social group. It was found out that, although there are many general modeling and simulation tools, there is very little support and ready-to-use implementations of even widely used mechanisms, such as pheromones, which are provided by systems to build and research a group of robotic agents with a social structure. On the other hand, the tools that aim at simulating systems with social behavior elements, such as ant modeling systems, are not very scalable or limited in aspects they can simulate. There are no mechanisms to expand them for further research.

Based on the review, the paper has detected a lack of a comprehensive simulation system that specifically aims at the research of artificial agent groups with social structure elements. It has also formulated a set of requirements for such a system.

Keywords: agent-based simulation, social behavior modeling, swarm robotics, simulation modeling, development tools, review, cluster computing, bioinspired systems, eusociality, robot.

Acknowledgements. *The work has been partially supported by the Russian Science Foundation, project no. 16-11-00018, RFBR 16-29-04412 ofi_m.*

References

1. Karpov V.E. Models of social behaviour in the group robotics. *Upravlenie bolshimi sistemami* [Large-scale Systems Control]. 2016, no. 59, pp. 165–232 (in Russ.).
2. Zakharov A.A. *Muravey, semya, koloniya* [Ant, family, colony]. Moscow, Nauka Publ., 1978, 144 p.
3. *Artificial Life Models in Software*. Komosinski M., Adamatzky A. (Eds.). London, Springer Publ., 2009, no. 2, 441 p.
4. Allan R. *Survey of Agent Based Modelling and Simulation Tools*. 2009. Available at: <http://www.grids.ac.uk/Complex/ABMS/> (accessed January 8, 2017).
5. Kravari K., Bassiliades N. A Survey of Agent Platforms. *J. Artif. Soc. Soc. Simul.* 2015, vol. 18, no. 1, p. 11.
6. Nikolai C., Madey G. Tools of the Trade: A Survey of Various Agent Based Modeling Platforms. *J. Artif. Soc. Soc. Simul.* 2009, vol. 12, no. 2, p. 2.
7. Dlussky G.M. *Muravyi roda formika* [Formica Genus Ants]. Moscow, Nauka Publ., 1967, 236 p.
8. Tinbergen N. *Sotsialnoe povedenie zhivotnykh* [Social Behaviour of Animals]. Simonov P.V. (Ed.) Moscow, Mir Publ., 1993, 152 p.
9. Gudoll D. *Shimpanze v prirode: povedenie* [Chimpanzee in the Wild: Behaviour]. Moscow, Mir Publ., 1992, 670 p.
10. Karpov V., Migalev A., Moscovsky A., Rovbo M., Vorobiev V. Multi-robot Exploration and Mapping Based on the Subdefinite Models. *Interactive Collaborative Robotics. ICR 2016. Lecture Notes in Computer Science*. Ronzhin A., Rigoll G., Meshcheryakov R. (Eds.). Springer Publ., Cham, 2016, vol. 9812, pp. 143–152.
11. Karpova I.P. Pseudo-Analog Communication in Robot Groups. *Mekhatronika, avtomatizatsiya, upravlenie* [Mechatronics, Automation, Control]. 2016, vol. 17, no. 2, pp. 94–101.
12. Kulinich A.A. A model of agents (robots) command behavior: The cognitive approach. *Autom. Remote Control*. 2016, vol. 77, no 3, pp. 510–522.

13. Kulinich A.A. BDI Architecture Model of Agents' Team Work. *Proc. 15th National Conf. on Artificial Intelligence with Int. Participation (CAI 2016)*. Smolensk, 2016, pp. 344–352 (in Russ.).
14. Bongard J., Zykov V., Lipson H. Resilient Machines Through Continuous Self-Modeling. *Science*. 2006, vol. 314, no. 5802, pp. 1118–1121.
15. Rovbo M.A. Role Assignment in a Heterogeneous Ant-Like Collective. *Proc. 15th National Conf. on Artificial Intelligence with Int. Participation (CAI 2016)*. Smolensk, 2016, vol. 2, pp. 363–371 (in Russ.).
16. Vorobev V.V. Robot collective clusterization algorithm. *III Vseros. nauch.-praktich. seminar "Bespilotnye transportnye sredstva s elementami iskusstvennogo intellekta"*. Innopolis [Proc. 3rd All-Russian Science and practice Workshop on AI-Powered Unmanned Vehicles. Innopolis]. 2015, pp. 50–59 (in Russ.).
17. Purushotham Muniganti, Albert Oller Pujol. A survey on mathematical models of swarm robotics. *Proc. Conf. Workshop on Physical Agents*. 2010. Available at: https://www.researchgate.net/publication/230793772_A_Survey_on_Mathematical_models_of_Swarm_Robotics (accessed January 8, 2017).
18. Bondarevsky A.S., Lebedev A.V. Simulation modeling: definition, applicability and technical implementation. *Fundamentalnye issledovaniya* [Fundamental research]. 2011, iss. 12 (pt. 3), pp. 535–541 (in Russ.).
19. Economou M., Kostenko S., Hauchecorne É., Vandon R. *Aints*. 2010. Available at: <http://a-i-nts.blogspot.ru/2010/03/presentation-of-aints.html> (accessed January 8, 2017).
20. Cristiani E. *MYRMEDROME*. 2016. Available at: http://www.emilianocristiani.it/myrmedrome/main_en.html (accessed January 8, 2017).
21. Wendel T. *AntMe*. 2016. Available at: <https://service.antme.net/> (accessed January 8, 2017).
22. *AI Challenge Ants*. 2011. Available at: <http://ants.aichallenge.org/> (accessed January 8, 2017).
23. Cacace S., Cristiani E., D'Eustacchio D. Myrmedrome: Simulating the Life of an Ant Colony. *Imagine Math 2: Between Culture and Mathematics*. Milano, Springer Publ., 2013, pp. 201–210.
24. Wilensky U. *NetLogo*. Center for Connected Learning and Computer-Based Modeling. 1999. Available at: <http://ccl.northwestern.edu/netlogo/> (accessed January 8, 2017).
25. Wilensky U. *NetLogo Ants model*. Center for Connected Learning and Computer-Based Modeling. 1997. Available at: <http://ccl.northwestern.edu/netlogo/models/Ants> (accessed January 8, 2017).
26. *NetLogo Source Code*. 2016. Available at: <https://github.com/NetLogo/NetLogo> (accessed January 8, 2017).
27. Lytinen S.L., Railsback S.F. The evolution of agent-based simulation platforms: a review of NetLogo 5.0 and ReLogo. *Eur. Meet. Cybern. Syst. Res.* 2010, pp. 1–11.
28. Borshchev A. *The Big Book of Simulation Modeling: Multimethod Modeling with AnyLogic 6*. Amazon Digital Services LLC, 2015, 614 p.
29. *SOI-Software. Simplex*. 2016. Available at: <http://www.simplex3.net/Body/Introduction/English/indexAbstract.html> (accessed January 8, 2017).
30. Dörnhöfer K. *Die Benutzerumgebung von SIMPLEX II – Eine offene graphische Bedienoberfläche zur Erstellung und Auswertung von Simulationsmodellen* [The User Environment of SIMPLEX II – An Open Graphical User Interface for Creating and Evaluating Simulation Models]. Univ. Erlangen-Nürnberg Publ., 1991 (in German).
31. Eschenbacher P. *Entwurf und Implementierung einer formalen Sprache zur Beschreibung dynamischer Modelle* [Design and Implementation of a Formal Language for Describing Dynamic Models]. Institute of Mathematical Machines and Data Processing Publ., 1989, 328 p. (in German).
32. Argonne National Laboratory. *Repast Symphony*. 2016. Available at: http://repast.sourceforge.net/repast_symphony.php# (accessed January 8, 2017).
33. Argonne National Laboratory. *Repast for High Performance Computing*. 2016. Available at: http://repast.sourceforge.net/repast_hpc.php# (accessed January 8, 2017).
34. Michel O. Webots TM : Professional Mobile Robot Simulation. *Int. J. Adv. Robot. Syst.* 2004, vol. 1, no. 1, pp. 39–42.
35. *Cyberbotics Ltd. Webots*. 2016. Available at: <https://www.cyberbotics.com/webots.php> (accessed January 8, 2017).
36. *ROS Indigo Igloo*. 2014. Available at: <http://wiki.ros.org/indigo> (accessed January 8, 2017).
37. Smith R. *Open Dynamics Engine*. 2016. Available at: <http://www.ode.org/> (accessed January 8, 2017).
38. Koenig N., Howard A. Design and use paradigms for gazebo, an open-source multi-robot simulator. *2004 IEEE/RSJ Int. Conf. Intell. Robot. Syst. (IEEE Cat. No.04CH37566)*. 2004, vol. 3, pp. 2149–2154.
39. Pinciroli C., Trianni V., O'Grady R., Pini G., Brutschy A., Brambilla M., Mathews N., Ferrante E., Di Caro G., Ducatelle F., Birattari M., Gambardella L.M., Dorigo M. ARGoS: A modular, parallel, multi-engine simulator for multi-robot systems. *Swarm Intell.* 2012, vol. 6, no. 4, pp. 271–295.
40. *The MIT License (MIT)*. 2016. Available at: <https://opensource.org/licenses/MIT> (accessed January 8, 2017).
41. Pinciroli C., Trianni V., O'Grady R., Pini G., Brutschy A., Brambilla M., Mathews N., Ferrante E., Di Caro G., Ducatelle F., Stirling T., Gutiérrez Á., Gambardella L.M., Dorigo M. ARGoS: A modular, multi-engine simulator for heterogeneous swarm robotics. *IEEE Int. Conf. Intell. Robot. Syst.* 2011, pp. 5027–5034.
42. *Microsoft. Microsoft Robotics Developer Studio 4*. 2012. Available at: <https://www.microsoft.com/en-us/download/details.aspx?id=29081> (accessed January 8, 2017).
43. *Open Source Initiative. The Open Source Definition*. 2007. Available at: <https://opensource.org/osd> (accessed January 8, 2017).