

Информационный обмен в коалициях мобильных роботов в условиях ограниченных коммуникаций на основе эпидемического алгоритма

В.Б. Шабанов

ООО «Научно-исследовательский институт многопроцессорных вычислительных и управляющих систем», Таганрог

Аннотация: В настоящее время большой популярностью пользуется тема создания групп мобильных роботов, для решения групповых задач. В связи с чем становится вопрос реализации информационного обмена внутри коллектива. В статье рассмотрены существующие подходы организации информационного взаимодействия в группах интеллектуальных роботов, а также содержится краткий анализ особенностей обмена информацией в зависимости от типа стратегии управления. Предложен метод организации обмена информацией с учетом ограниченности бортовых телекоммуникационных систем мобильных роботов. Предлагаемый метод основан на применении эпидемических алгоритмов и методов развертки роя для маршрутизации. Предоставлен результат моделирования программного обеспечения.

Ключевые слова: система группового управления, коалиция роботов, обмен информацией, эпидемический алгоритм, ограниченные коммуникации, малоразмерные роботы, динамические системы, программное моделирование, модель управления, взаимодействие роботов.

Введение

Мобильные роботы прочно заняли позиции в решении технически сложных задач. Одним из витков эволюции роботов является использование группового взаимодействия для повышения эффективности и функциональности в решаемых задачах [1–4]. Малогабаритные автономные роботы открывают огромные возможности, в частности, возможность снижения человеческих потерь в аэрокосмических операциях. Отсутствие людей на борту позволяет увеличить диапазон допустимых перегрузок и маневренности, снизить стоимость единиц такого оборудования. Такие роботы могут использоваться для картографирования, наблюдения [5], слежения, охраны спец объектов, перемещения габаритных тел, работу с радиоактивными отходами [6], телекоммуникаций [7], радиоэлектронной разведки, поисковых операций [8,9] и др.

Выполнение групповых задач требует создания системы управления, позволяющей достичь высокого уровня командного взаимодействия с учетом динамично изменяющейся среды и ограниченности радиуса взаимодействия членов коллектива, в этом случае одного оператора достаточно для постановки задачи и управления группой роботов [10,11].

Ключевыми преимуществами эпидемических алгоритмов является простота распространения информации в больших динамических системах, алгоритм позволяет легко развернуть систему и обеспечить высокий уровень отказоустойчивости.

Анализ существующих методов управления группами

Вычислительные и функциональные возможности малоразмерных мобильных роботов крайне ограничены, поэтому распределение задач в группе является актуальной проблемой. Существующие методы и подходы к управлению группами роботов, позволяют разделить их на 3 основные категории [12–14]:

- Стратегия централизованного управления. Все члены группы считаются единым объектом управления с четким распределением прав и обязанностей каждого элемента команды (см. рис. 1). Принцип основан на иерархической модели представления, схема включает центральное устройство управления (ЦУУ) и каналы, по которым происходит обмен информацией между всеми участниками. Каждый агент должен постоянно передавать информацию о своих координатах, своем состоянии, условиях окружающей среды в ЦУУ. Примером этого метода является проект "MARTHA"[2];

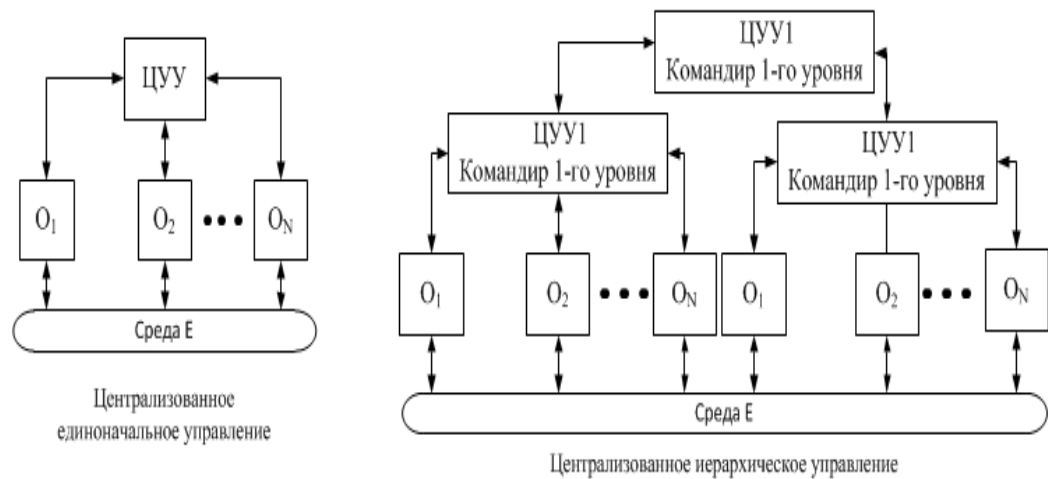


Рис.1. – Централизованное управление.

- Децентрализованная стратегия управления. Управление коллективом автоматов, лишенных единого объекта управления, позволяет добиться высокой масштабируемости и нетребовательности оптимизации маршрутов движения роботов, что полностью отличает этот метод от централизованного [15–17]. В децентрализованной системе можно выделить два метода: коллективный и стайный (рис. 2);

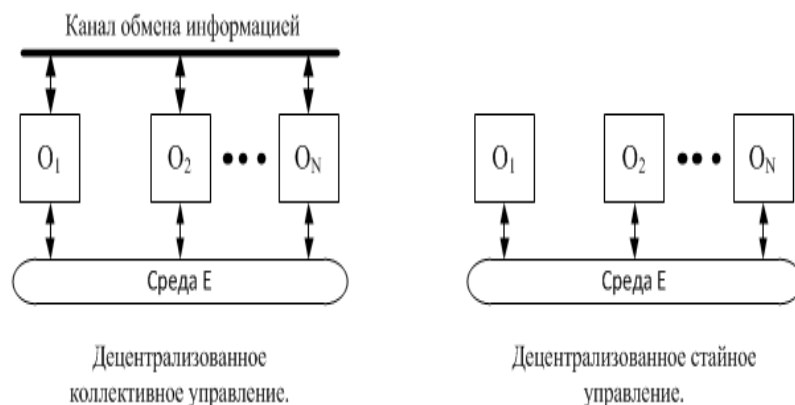


Рис.2. – Децентрализованное управление.

- Комбинированная стратегия управления - объединены все основные методы группового управления [18].

Постановка задачи управления группами малоразмерных роботов

Задачу группового управления можно представить следующим образом. Пусть есть группа A состоящую из K -количества роботов $R_i (i = \overline{1, W})$, функционирующих в условия среды S . Состояние группы роботов задается вектором $O(t) = \langle R_1(t), R_2(t), \dots, R_k(t) \rangle$, где состояние робота в момент времени t $R_i(t) = [p_{1,i}(t), p_{2,i}(t), \dots, p_{z,i}(t)]^T$, $p_{x,i}$ – переменные состояния i -робота.

Задача группового управления роботами в интервале $[t_o, t_e]$, с учетом действий $\overline{A}_i(t)$ для каждого робота группы $R_i \in O$ при которых удовлетворятся все связи внутри коллектива, ограничения и условия, представляется в виде экстремума: $E_f = \Phi(D_f^h, t_h) + \int_{t_o}^{t_e} F(D_f(t), G_f(t), C(t), t) dt$, где D_f^h - множество допустимых в момент времени t состояний робот-среда, $G_f(t)$ – множество допустимых действий в момент времени t , $C(t)$ - множество сил действующих в среде.

Специфика группового управления создаёт необходимость обмена информацией между участниками группы и задействование режима многоцелевого сопровождения с четкой идентификацией изменений.

Каждому участнику требуется постоянная осведомлённость как о своих «соседях», так и о поставленных целях – для решения данной задачи используется многоцелевой режим сопровождение. Проблема многоцелевого режима сопровождения заключается в достаточно большом интервале времени между поступающими сигналами измерений от одной цели, тогда как сигналы управления должны формироваться непрерывно. Следует

отметить, что способ обработки поступающих сигналов в известных алгоритмах оценивания при одновременной обработке является нерентабельным, т.к. время обработки сигналов каждым датчиком различно, а также расположение в пространстве участников влияет на время поступления сигнала.

К основным проблемам группового управления следует отнести - проблему обмена информацией между участниками группы, так же следует отдельно отметить задействование режима многоцелевого сопровождения с четкой идентификацией изменений [19,20].

Предлагаемый подход к организации информационного обмена в группе роботов

Эпидемические алгоритмы распространились, как эффективное средство распространения данных в больших системах. В дополнение к присущей им масштабируемости они отказоустойчивы и легко развертываются. Алгоритм легко настраивается для достижения высокой надежности, пакеты будут передаваться независимо от нестабильной сети, отключая процессы. Алгоритм имитирует распространение заразной болезни, подобно тому, как люди заражают других людей, и алгоритм передает свои данные неинфицированным объектам.

В первоначальном варианте использования эпидемического алгоритма все объекты находятся в режиме восприятия – узлы не знают статусы текущего сообщения, но есть возможность его получить. После получения сообщения происходит смена режима на режим заражения – узел начинает рассылку сообщений другим незараженным узлам в области действия сети. Существует 3 возможных варианта связи между агентами эпидемических алгоритмов:

- принятие инфекции. Опрос зараженных узлов на наличие новой информации. При наличии таковой происходит передача данных (см. рис.3);

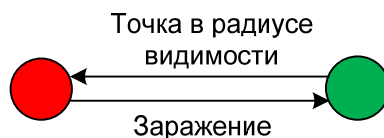


Рис.3. – Принятие инфекции.

- передача инфекции. Алгоритм выбирает узел получения и производит передачу имеющейся информации. В этом случае инфекционные узлы инициируют передачу информации на незараженные объекты (см. рис.4);

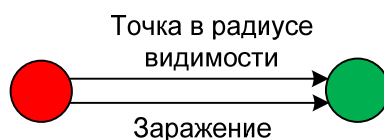


Рис.4. – Передача инфекции.

- комбинированный. Между узлами поддерживается связь, при которой каждый участник готов как к передаче информации, так и к двусторонней передаче (см. рис.5);

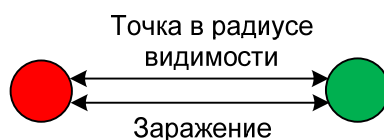


Рис.5. – Комбинированный алгоритм.

Случайность и возможность повторного заражения - основные причины надежности и безопасности эпидемических алгоритмов. Для организации функционирования алгоритма требуется ограничить количество возможных повторов заражения, для регулирования количества передаваемых сообщений в системе. Все описанные выше алгоритмы имеют возможность определить, когда прекратить передачу сообщений.

В модели «заражения и смерти» [21] узел передает каждое полученное сообщение только один раз, отбрасывая возможные копии этого сообщения, полученные позже. Есть также модели:

- с использованием счетчика на каждом узле, который увеличивает свой параметр после создания новых сообщений, в то время как это сообщение отправляется через дерево узлов с адресом и местом счетчика отправителя. Узлы дерева требуют сообщения, которое они еще не получили.
- с использование контролируемой случайности отправки сообщений вместо полной случайности, увеличивающей вероятность выбора цели ближе к иерархии узлов.

Реализация эпидемических алгоритмов требует некоторых ограничений:

- отслеживание заражения - робот должен понимать, что он уже «заражен» и не получать сообщения от других
- осведомленность о сети – коллектив должна знать количество участников в группе и на каком расстоянии они находятся друг от друга. Кроме того, топология сети должна поддерживать приемлемую производительность для передачи сообщений.

Осведомленность о сети – это фундаментальная проблема при реализации эпидемических алгоритмов. Поскольку «зараженный» объект может пересылать сообщения только известным ему объектам, которые позже сообщают об их статусе «заражение».

Внедрение и распространение эпидемии в большой группе роботов, требует полной децентрализации, для создания одноранговой сети.

Применительно к задаче информационного взаимодействия коллектива роботов алгоритм действий одного члена группы с использованием эпидемического подхода можно представить в виде блок-схемы, см. рис. 6.

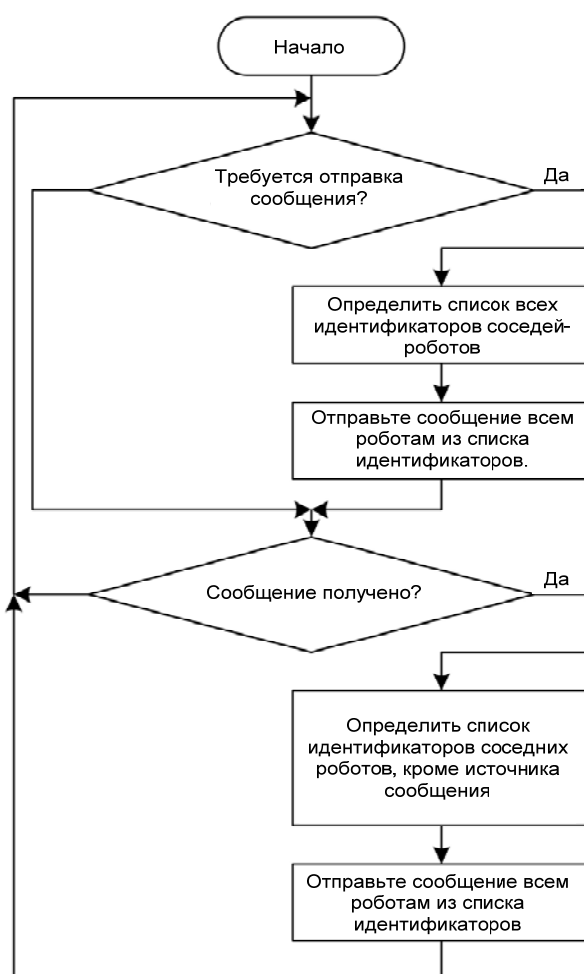


Рис.6. – Алгоритм действий робота с использованием эпидемического алгоритма.

Программное моделирование

Для изучения проблемы создания коалиции в условиях ограниченных коммуникаций было разработано программное обеспечение для проведения компьютерного моделирования. Серия программных экспериментов позволила получить приблизительное количество шагов для оповещения членов группы.

В ряде экспериментов пространственные размеры группы роботов могут превышать диапазон телекоммуникационных систем. В этом случае

вам необходимо ретранслировать пакеты на удаленные устройства, для этого вы можете использовать существующие методы маршрутизации [22–24]. Для передачи данных между «зараженным» устройством и остальной частью группы было решено использовать эпидемические алгоритмы. Смотри рис. 7.

Высокий уровень заражения видимыми агентами организован за счет повторной передачи информации, что позволяет не беспокоиться о локальной плотности и подавлении. В то же время существует ограничение неактивного доступа, поскольку сетевые узлы не являются индивидуально адресуемыми.

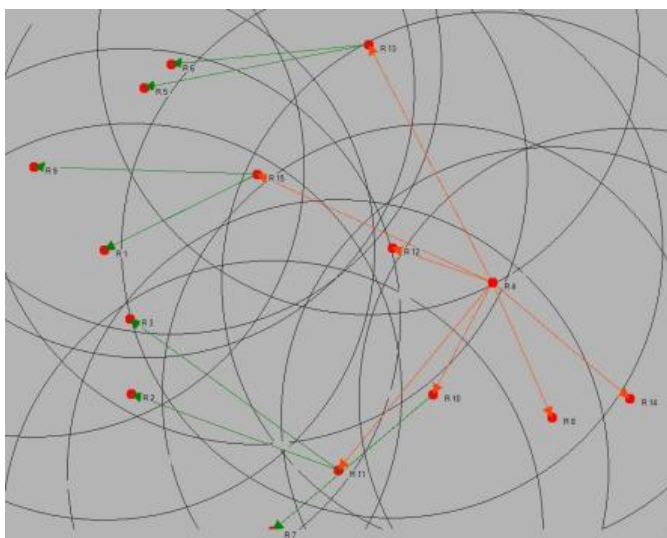


Рис.7. – Передача данных «один – всем». Передача сообщений с использованием эпидемического алгоритма. Черные окружности обозначают зону прямой связи, цветные стрелки – направление передачи сообщения.

В таблице 1 приведены результаты моделирования программного обеспечения для различного количества роботов в группе, показывающие обмен информацией в команде. В результате при указании небольшого радиуса взаимодействия и значительного удаления роботов на карте некоторые члены группы не были связаны с остальной частью команды.

Таблица 1.

Результаты передачи информации с использованием эпидемического алгоритма - среднее количество этапов заражения.

Количество роботов в группе	5			10			15		
	300	350	400	300	350	400	300	350	400
Среднее количество шагов для «заражения»	-	2.2	2.1	-	2.8	3.1	3.8	3.6	3.5

Выводы

Взаимодействие группы роботов при ограниченных коммуникациях, перспективный предмет для развития робототехники. Результаты программного моделирования показывают целесообразность использования эпидемического алгоритма для практического применения в задачах такого плана. В ходе дальнейшей работы необходимо более детально изучить возможности расширения сетей взаимодействия между членами команды, повышая энергозатратность, стоит обратить внимание на планирование и распределение целей в группах мобильных роботов. Также нельзя не отметить высокую нагрузку на сеть, созданную с помощью эпидемического алгоритма одновременной отправки большого количества пакетов по разным адресам.

Благодарность

Отчетное исследование финансировалось РФФИ в соответствии с исследовательским проектом №17-29-07054, №18-07-00050.

Литература

1. Kaliaev I., Kapustjan S., Ivanov D. Decentralized control strategy within a large group of objects based on swarm intelligence 2011. pp. 299–303.
 2. Alami R. [и др.]. Multi-robot cooperation in the MARTHA project // IEEE Robotics & Automation Magazine. 1998. № 1 (5). pp. 36–47.
 3. Sahin E. Swarm robotics: From sources of inspiration to domains of application 2004. pp. 10–20.
 4. Seyfried J. [и др.]. The I-SWARM project: Intelligent small world autonomous robots for micro-manipulation 2004. pp. 70–83.
 5. Smith S.L., Schwager M., Rus D. Persistent robotic tasks: Monitoring and sweeping in changing environments // IEEE Transactions on Robotics. 2012. № 2 (28). pp. 410–426.
 6. Bashyal S., Venayagamoorthy G.K. Human swarm interaction for radiation source search and localization 2008. pp. 1–8.
 7. Cross M., Campbell T. Mobile robot for telecommunication : U.S. Patent No. 8265793 – 2012.
 8. Bernard M. [и др.]. Autonomous transportation and deployment with aerial robots for search and rescue missions // Journal of Field Robotics. 2011. № 6 (28). pp. 914–931.
 9. Davids A. Urban search and rescue robots: from tragedy to technology // IEEE Intelligent systems. 2002. № 2 (17). pp. 81–83.
 10. Капустян С.Г., Гайдук А.Р., Шаповалов И.О. Алгоритм управления движением группы мобильных роботов в условиях неопределенности // Инженерный вестник Дона, 2018, №3. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n3y2018/5221.
 11. Чачхиани Т.И., Серова М.Г. Мобильный робот в нестационарной среде // Инженерный вестник Дона, 2017, №4. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n4y2017/4546.
-

12. McLurkin J., Smith J. System and methods for adaptive control of robotic devices : U.S. Patent No 7117067 – 2006.

13. Solomon N. System, methods and apparatus for coordination of and targeting for mobile robotic vehicles : U.S. Patent Application No. 10421502 – 2004.

14. Solomon N. System, method and apparatus for organizing groups of self-configurable mobile robotic agents in a multi-robotic system : U.S. Patent No 7343222 – 2008.

15. Pallottino L. [и др.]. Decentralized cooperative policy for conflict resolution in multivehicle systems // IEEE Transactions on Robotics. 2007. № 6 (23). pp. 1170–1183.

16. Savkin A. V, Teimoori H. Decentralized navigation of groups of wheeled mobile robots with limited communication // IEEE Transactions on Robotics. 2010. № 6 (26). pp. 1099–1104.

17. Kureichik V.M., Kazharov A. Using fuzzy logic controller in ant colony optimization. Springer, 2015. pp. 151–158.

18. Pape C. Le A combination of centralized and distributed methods for multi-agent planning and scheduling 1990. pp. 488–493.

19. Dong W. Tracking control of multiple-wheeled mobile robots with limited information of a desired trajectory // IEEE transactions on robotics. 2012. № 1 (28). pp. 262–268.

20. Ren W., Atkins E. Distributed multi-vehicle coordinated control via local information exchange // International Journal of Robust and Nonlinear Control. 2007. № 10–11 (17). pp. 1002–1033.

21. Eugster P.T. [и др.]. Epidemic information dissemination in distributed systems // Computer. 2004. № 5 (37). pp. 60–67.

22. Das J. [и др.]. Devices, systems, and methods for automated monitoring enabling precision agriculture 2015. pp. 462–469.

23. Li J. [и др.]. Study on ZigBee network architecture and routing algorithm 2010. V2--389 p.

24. Skrzypczyk K. Game theory based target following by a team of robots 2004. pp. 91–96.

References

1. Kaliaev I., Kapustjan S., Ivanov D. 2011 IEEE 5th International Conference on Robotics, Automation and Mechatronics (RAM). IEEE, pp. 299–303.

2. Alami R. et al. IEEE Robotics & Automation Magazine. 1998. № 1 (5). pp. 36–47.

3. Sahin E. International workshop on swarm robotics. Springer, Berlin, Heidelberg, 2004. pp. 10–20.

4. Seyfried J. et al. Springer, Berlin, Heidelberg, 2004. pp. 70–83.

5. Smith S.L., Schwager M., Rus D. IEEE Transactions on Robotics. 2012. № 2 (28). pp. 410–426.

6. Bashyal S., Venayagamoorthy G.K. 2008 IEEE Swarm Intelligence Symposium. IEEE, 2008. pp. 1–8.

7. Cross M., Campbell T. Mobile robot for telecommunication : U.S. Patent No. 8265793 – 2012.

8. Bernard M. et al. Journal of Field Robotics. 2011. № 6 (28). pp. 914–931.

9. Davids A. IEEE Intelligent systems. 2002. № 2 (17). pp. 81–83.

10. Kapustyan S.G., Gajduk A.R., SHapovalov I.O. Inzhenernyj vestnik Dona (Rus), 2018, №3. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n3y2018/5221

11. CHachkhiani T.I., Serova M.G. Inzhenernyj vestnik Dona (Rus), 2017, № 4. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n4y2017/4546

12. McLurkin J., Smith J. System and methods for adaptive control of robotic devices : U.S. Patent No 7117067 – 2006.

13. Solomon N. System, methods and apparatus for coordination of and targeting for mobile robotic vehicles: U.S. Patent Application № 10421502. 2004.

14. Solomon N. System, method and apparatus for organizing groups of self-configurable mobile robotic agents in a multi-robotic system: U.S. Patent № 7343222 – 2008.
15. Pallottino L. et al. IEEE Transactions on Robotics. 2007. № 6 (23). pp. 1170–1183.
16. Savkin A. V, Teimoori H. IEEE Transactions on Robotics. 2010. № 6 (26). pp. 1099–1104.
17. Kureichik V.M., Kazharov A. Artificial Intelligence Perspectives and Applications. Springer, Cham, 2015. pp. 151–158.
18. Pape C. Le Proceedings., IEEE International Conference on Robotics and Automation. IEEE, 1990.. pp. 488–493.
19. Dong W. IEEE transactions on robotics. 2012. № 1 (28). pp. 262–268.
20. Ren W., Atkins E. International Journal of Robust and Nonlinear Control. 2007. № 10–11 (17). pp. 1002–1033.
21. Eugster P.T. et al. Computer. 2004. № 5 (37). pp. 60–67.
22. Das J. et al. 2015 IEEE International Conference on Automation Science and Engineering. IEEE, 2015.. pp. 462–469.
23. Li J. et al. 2010 2nd International Conference on Signal Processing Systems. IEEE, 2010.. V2–389 p.
24. Skrzypczyk K. Proceedings of the Fourth International Workshop on Robot Motion and Control. IEEE, 2004. pp. 91–96.