

А.В. Калюжный, В.А. Гончаренко, А.Н. Соколовский

ПРОБЛЕМЫ ПОВЫШЕНИЯ ЖИВУЧЕСТИ
РОБОТОТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМ КОСМИЧЕСКОГО НАЗНАЧЕНИЯ
НА ОСНОВЕ МНОГОАГЕНТНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ

Кратко перечислены принципы обеспечения живучести робототехнических систем. Рассмотрены дополнительные свойства роботов, обеспечивающих их живучесть. Показана перспективность построения распределенных робототехнических систем на основе многоагентных технологий. Отмечены основные направления исследований в области коллективного поведения роботов.

Ключевые слова: робототехническая система, многоагентная система, живучесть, коллективное поведение, интеллектуальное управление.

A.V. Kalyuzhnyj, V.A. Goncharenko, A.N. Sokolovskij

THE PROBLEM OF INCREASING THE SURVIVABILITY
OF ROBOTIC SYSTEMS FOR SPACE APPLICATIONS BASED
ON MULTI-AGENT TECHNOLOGIES

The principles of ensuring the survivability of robotic systems are briefly listed. Additional properties of robots providing their survivability are considered. The perspectivity of constructing distributed robotic systems based on multi-agent technologies is shown. The main directions of research in the field of collective behavior of robots are noted.

Keywords: robotic system, multi-agent system, survivability, collective behavior, intelligent control.

Введение

Бурное развитие робототехники в последние годы привело к широкому внедрению робототехнических систем в производстве, сфере обслуживания, военном деле. В частности, в войсках зарубежных государств уже нашли применение роботы-разведчики, саперы, охранники, а также роботы для обслуживания вооружения и военной техники, для безэкипажного функционирования подвижных средств военной техники. Есть определенный опыт внедрения робототехнических систем и в нашей армии [15].

Особый интерес вызывают проекты в области космической робототехники. *Робототехническая система* (РТС) космического назначения – это робот (или их совокупность), объединяющий в себе интеллектуальную подсистему управления, подсистему сенсоров, исполнительные органы, подсистему связи и телекоммуникаций.

Основным назначением таких систем является автоматизация работ при функционировании орбитальных станций, космических аппаратов и их группировок в космическом пространстве, а также применение научно-исследовательских комплексов на поверхности планет Солнечной системы [8].

В то же время с учетом высокой дороговизны космических проектов и необходимости длительного автономного функционирования различных объектов космического назначения актуальной становится проблема повышения живучести робототехнических систем космического назначения [14; 16].

Калюжный А.В., Гончаренко В.А., Соколовский А.Н. Проблемы повышения...

Принципы обеспечения живучести робототехнических систем

В ГОСТ 34.003-90 под живучестью (*survivability*) понимается свойство автоматизированной системы, характеризующееся способностью выполнять установленный объем функций в условиях воздействия внешней среды и отказов компонентов системы в заданных пределах.

Живучесть системы предполагает ее способность продолжать или восстанавливать выполнение своих функций, возможно в более ограниченном объеме, после повреждений ее отдельных элементов. Проблеме повышения живучести сложных технических систем посвящено множество работ [6; 14; 16]. Так, в смежной области построения компьютерных систем и сетей все шире привлекаются адаптивные и интеллектуальные технологии для обеспечения устойчивости к различного рода деструктивным воздействиям [3; 10; 12].

В робототехнике, изначально использующей интеллектуальные технологии, существуют подобные проблемы. РТС, в отличие от компьютерной системы, помимо *информационной, управляющей и коммуникационной* подсистем, имеют *двигательную и сенсорную* подсистемы, что предъявляет дополнительные требования по обеспечению живучести.

В космической робототехнике развиваются все основные типы РТС по способу управления: интерактивные, дистанционные и автономные (автоматические) роботы. Но для автономных космических РТС, среди которых выделяют программные, адаптивные и интеллектуальные, проблема живучести является наиболее актуальной.

В основу построения современных РТС, как и компьютерных систем, должны быть заложены следующие принципы:

- унификация функциональных компонентов [2];
- реконфигурируемость и возможность создания систем переменной структуры [5; 11; 14];
- оптимальное сочетание функций автомата и человека [14];
- комбинированное управление системой (как автоматизированное, так и автоматическое) через развитый человеко-машинный интерфейс [1; 15].

Для РТС космического назначения, работающих как в космосе, так и на поверхности планет, важны возможности, обеспечивающие их длительное функционирование в условиях неопределенной или агрессивной среды [4; 7].

Основной постулат теории живучести – это отсутствие в системе единой точки отказа, что предполагает внесение избыточности в РТС на структурном и функциональном уровнях [14]. Такая РТС для обеспечения живучести должна обладать дополнительными свойствами:

- **интеллектуальность** – робот для решения сложных неформализуемых задач должен иметь элементы искусственного интеллекта, основанного на базах знаний и экспертных системах [1];
- **само- и взаимовосстанавливаемость** – «умение» решать проблемы, возникающие в процессе функционирования (самодиагностика, самообслуживание и саморемонт, при групповом применении – взаимодиагностика, взаимообслуживание и взаиморемонт) [10];
- **многоразовость** – в случае отсутствия возможности самовосстановления должна существовать некоторая база и система доставки робота для анализа, обслуживания и ремонта; связь с базой должна осуществляться по зашифрованному каналу [5; 15];

- **гибкость** – свободный переход робота от автономного использования к совместной работе с человеком, от узкой специализации к универсальности [1; 5];
- **габаритная оптимизация** – компактность РТС для удобства доставки, с одной стороны, и удобный размер для работы с человеком – с другой [4];
- **приспособляемость** – способность адаптироваться к существующим условиям работы [11], в том числе использовать подручные материалы.

Технология многоагентных систем и групповое поведение роботов

Основными аспектами, существенно влияющими на повышение живучести РТС, являются:

- адаптивность энергосберегающих технологий [17];
- качество, безопасность и миниатюризация используемой элементной базы и микроконтроллерных схем [8];
- функциональная избыточность манипуляторов и систем передвижения [5; 9; 13];
- интеллектуальность РТС в части реагирования на нештатные ситуации [1; 15].

Для повышения живучести РТС перспективным является направление создания *распределенных* робототехнических комплексов.

Одной из перспективных технологий, которая может быть положена в основу управления в распределенных РТС космического назначения, является технология так называемых **многоагентных систем** [4; 9], возникшая на стыке искусственного интеллекта и телекоммуникационных сетей и основанная на принципах *распределенного интеллектуального управления*. Робот выступает в роли агента многоагентной РТС. Каждый агент описывается четверкой $S_{ma} = \langle A_n, E, R, F \rangle$, где A_n – множество агентов n типов; E – глобальная телекоммуникационная среда, в которой происходит взаимодействие агентов; R – множество отношений между агентами в коммуникационной среде; F – множество функций (действий), выполняемых агентами.

Многоагентная система может содержать множество однотипных или разнотипных агентов, распределенных в космическом пространстве, локально взаимодействующих между собой и с окружающей средой, которые могут иметь общие и/или различные цели, могут быть написаны на различных языках программирования и работать на различных операционных платформах, но быть совместимыми друг с другом на уровне форматов данных, команд и целеуказаний, а также на уровне технических каналов их передачи [9].

Для управления перспективными РТС космического назначения создается распределенная *интеллектуальная система управления* [1; 2]. Интеллектуальные системы управления – предельный по сложности класс систем управления, ориентированных на получение, обработку и использование некоторой дополнительной информации, накапливаемой в базе знаний, предназначенные для работы в условиях неопределенности информации о свойствах сложных объектов и среды их функционирования и способные к адаптации и самообучению [7].

В данном контексте в ближайшей перспективе актуальными будут исследования в области группового поведения роботов [5; 13]. В отличие от известных распределенных РТС групповая робототехника предполагает новый подход к координации большого количества роботов и их масштабируемость для решения разных задач, например, с использо-

Калюжный А.В., Гончаренко В.А., Соколовский А.Н. Проблемы повышения...

ванием только локальной беспроводной связи между собой. Основными направлениями исследований в области коллективного поведения роботов являются математические решения на основе теории систем, технологии многоагентных систем, имитационное моделирование, алгоритмы роевого интеллекта, эволюционные методы [1; 4; 5; 9; 13; 15] и др.

Алгоритмы роевого интеллекта, используемые для описания коллективного поведения децентрализованной самоорганизующейся системы (например, муравьиные, пчелиные, иммунные и др.), позволяют оптимизировать получаемое решение, несмотря на отсутствие централизованной системы управления [7; 11]. Роевой интеллект представляет собой многоагентную систему, обладающую самоорганизующимся разумным поведением.

В перспективе получают свое развитие многоагентные робототехнические системы [5; 9]. Унификация и стандартизация аппаратных средств и программного обеспечения бортовых систем управления роботами как активных элементов многоагентной системы становится тем важнейшим фактором, который будет определять возможность и эффективность обеспечения их информационно-логического взаимодействия и совместности. Обеспечение автономности робота (как самостоятельного элемента многоагентной системы, априорно ориентируемого на работу в условиях неопределенности) предполагает наличие интеллектуальной бортовой системы управления [1], имеющей иерархическую структуру и реализующей весь спектр необходимых функций на основе комплексного применения современных технологий обработки знаний [9].

Выводы

Исходя из изложенного, в целях повышения живучести РТС космического назначения представляется необходимым решение проблемы построения интеллектуальных систем распределенного управления коллективным поведением роботов на основе многоагентных технологий [5; 13].

Литература

1. Бухаров М.Н. Использование теории систем гибридного интеллекта для управления роботами // Вестник Российского нового университета. Серия «Сложные системы: модели, анализ и управление». 2017. Вып. 2. С. 54–62.
2. Гончаренко В.А. Концептуальные основы комплексного интеллектуального управления распределенными информационно-вычислительными системами космических войск // Военно-космическая деятельность России – истоки, состояние, перспективы: труды научно-практической конференции. Т. 2. СПб.: ВКА им. А.Ф. Можайского, 2005. С. 146–148.
3. Гончаренко В.А. Концептуальные основы построения устойчивых к воздействиям автоматизированных систем специального назначения на основе адаптивных технологий // Наукоемкие технологии в космических исследованиях Земли. 2018. Т. 10, № 4. С. 38–47.
4. Гончаренко В.А. Применение многоагентных технологий построения наземной инфраструктуры систем малых космических аппаратов // Малые космические аппараты. Вып. 1: Принципы построения орбитальных систем и бортовых комплексов управления. М., 2001. С. 25–28.
5. Городецкий В.И. Управление коллективным поведением роботов в автономной миссии // Робототехника и техническая кибернетика. 2016. № 1 (10). С. 40–54.

6. Додонов А.Г., Кузнецова М.Г., Горбачик Е.С. Введение в теорию живучести вычислительных систем. Киев: Наукова думка, 1990. 184 с.
7. Клименко И.С., Шаранова Л.В. Общая задача принятия решения и феномен неопределенности // Вестник Российского нового университета. Серия «Сложные системы: модели, анализ и управление». 2019. Вып. 3. С. 44–58.
8. Максимов В.А., Молчанов О.Е. Модель распределенного хранения данных в кластерах перспективных космических аппаратов дистанционного зондирования Земли // Вестник Российского нового университета. Серия «Сложные системы: модели, анализ и управление». 2017. Вып. 3. С. 34–37.
9. Манько С.В., Лохин В.М., Поманов М.П. Концепция построения мультиагентных робототехнических систем // Российский технологический журнал. 2015. Т. 1, № 3 (8). С. 156–165.
10. Минаев В.А., Крупенин А.В., Королев И.Д., Бондарь К.М., Захарченко Р.И. Оценка устойчивости функционирования критической информационной инфраструктуры // Вестник Российского нового университета. Серия «Сложные системы: модели, анализ и управление». 2018. Вып. 4. С. 129–138.
11. Новиков А.Н., Нечай А.А., Малахов А.В. Математическая модель обоснования вариантов реконфигурации распределенной автоматизированной контрольно-измерительной системы // Вестник Российского нового университета. Серия «Сложные системы: модели, анализ и управление». 2016. Вып. 1–2. С. 56–59.
12. Петренко С.А. Проблема устойчивости функционирования киберсистем в условиях деструктивных воздействий // Труды Института системного анализа Российской академии наук. 2010. Т. 52. С. 68–105.
13. Раковенко А.А., Быков К.В. Методика построения математической модели группы роботов, выполняющих комплексную задачу // Вестник Российского нового университета. Серия «Сложные системы: модели, анализ и управление». 2012. Вып. 24. С. 24–30.
14. Соколовский А.Н., Кошель И.Н., Калюжный И.В. Подход к обеспечению живучести специализированных вычислительных систем на основе конфигурирования вычислительных процессов // Вестник Российского нового университета. Серия «Сложные системы: модели, анализ и управление». 2019. Вып. 4. С. 88–93.
15. Тарасов А.Г., Груздев Н.В., Крупский К.А. Методика обоснования способа применения робототехнических систем ликвидации экстремальных ситуаций при проведении испытаний и эксплуатации ракетно-космической техники // Информация и Космос. 2019. № 1. С. 165–172.
16. Черкесов Г.Н. Методы и модели оценки живучести сложных систем. М.: Знание, 1987. 32 с.
17. Ширококов В.В., Нечай А.А. Алгоритм планирования энергосберегающей параллельной обработки информации с учетом информационной важности и времени поступления задач // Вестник Российского нового университета. Серия «Сложные системы: модели, анализ и управление». 2017. Вып. 1. С. 88–93.

Literatura

1. Bukharov M.N. Ispol'zovanie teorii sistem gibridnogo intellekta dlya upravleniya robotami // Vestnik Rossijskogo novogo universiteta. Seriya "Slozhnye sistemy: modeli, analiz i upravlenie". 2017. Vyp. 2. S. 54–62.
2. Goncharenko V.A. Kontseptual'nye osnovy kompleksnogo intellektual'nogo upravleniya raspredelennymi informatsionno-vychislitel'nymi sistemami kosmicheskikh vojsk // Voenno-kosmicheskaya deyatel'nost' Rossii – istoki, sostoyanie, perspektivy: trudy nauchno-prakticheskoy konferentsii. T. 2. SPb.: VKA im. A.F. Mozhajskogo, 2005. S. 146–148.

3. *Goncharenko V.A.* Kontseptual'nye osnovy postroeniya ustojchivykh k vozdeystviyam avtomatizirovannykh sistem spetsial'nogo naznacheniya na osnove adaptivnykh tekhnologij // Naukoemkie tekhnologii v kosmicheskikh issledovaniyakh Zemli. 2018. T. 10, № 4. S. 38–47.
4. *Goncharenko V.A.* Primenenie mnogoagentnykh tekhnologij postroeniya nazemnoj infrastruktury sistem malyx kosmicheskikh apparatov // Malye kosmicheskie apparaty. Vyp. 1: Printsipy postroeniya orbital'nykh sistem i bortovykh kompleksov upravleniya. M., 2001. S. 25–28.
5. *Gorodetskij V.I.* Upravlenie kollektivnym povedeniem robotov v avtonomnoj missii // Robototekhnika i tekhnicheskaya kibernetika. 2016. № 1 (10). S. 40–54.
6. *Dodonov A.G., Kuznetsova M.G., Gorbachik E.S.* Vvedenie v teoriyu zhivuchesti vychislitel'nykh sistem. Kiev: Naukova dumka, 1990. 184 s.
7. *Klimenko I.S., Sharapova L.V.* Obshchaya zadacha prinyatiya resheniya i fenomen neopredelennosti // Vestnik Rossijskogo novogo universiteta. Seriya "Slozhnye sistemy: modeli, analiz i upravlenie". 2019. Vyp. 3. S. 44–58.
8. *Maksimov V.A., Molchanov O.E.* Model' raspredelenno go khraneniya dannykh v klasterakh perspektivnykh kosmicheskikh apparatov distantsionnogo zondirovaniya Zemli // Vestnik Rossijskogo novogo universiteta. Seriya "Slozhnye sistemy: modeli, analiz i upravlenie". 2017. Vyp. 3. S. 34–37.
9. *Man'ko S.V., Lokhin V.M., Pomanov M.P.* Kontseptsiya postroeniya mul'tiagentnykh robototekhnicheskikh sistem // Rossijskij tekhnologicheskij zhurnal. 2015. T. 1, № 3 (8). S. 156–165.
10. *Minaev V.A., Krupenin A.V., Korolev I.D., Bondar' K.M., Zakharchenko R.I.* Otsenka ustojchivosti funkcionirovaniya kriticheskoy informatsionnoj infrastruktury // Vestnik Rossijskogo novogo universiteta. Seriya "Slozhnye sistemy: modeli, analiz i upravlenie". 2018. Vyp. 4. S. 129–138.
11. *Novikov A.N., Nechaj A.A., Malakhov A.V.* Matematicheskaya model' obosnovaniya variantov rekonfiguratsii raspredelennoj avtomatizirovannoj kontrol'no-izmeritel'noj sistemy // Vestnik Rossijskogo novogo universiteta. Seriya "Slozhnye sistemy: modeli, analiz i upravlenie". 2016. Vyp. 1–2. S. 56–59.
12. *Petrenko S.A.* Problema ustojchivosti funkcionirovaniya kibersistem v usloviyakh destruktivnykh vozdeystvij // Trudy Instituta sistemnogo analiza Rossijskoj akademii nauk. 2010. T. 52. S. 68–105.
13. *Rakovenko A.A., Bykov K.V.* Metodika postroeniya matematicheskoy modeli grupy robotov, vypolnyayushchikh kompleksnyu zadachu // Vestnik Rossijskogo novogo universiteta. Seriya "Slozhnye sistemy: modeli, analiz i upravlenie". 2012. Vyp. 24. S. 24–30.
14. *Sokolovskij A.N., Koshe' I.N., Kalyuzhnyj I.V.* Podkhod k obespecheniyu zhivuchesti spetsializirovannykh vychislitel'nykh sistem na osnove konfigurirovaniya vychislitel'nykh protsessov // Vestnik Rossijskogo novogo universiteta. Seriya "Slozhnye sistemy: modeli, analiz i upravlenie". 2019. Vyp. 4. S. 88–93.
15. *Tarasov A.G., Gruzdev N.V., Krupskij K.A.* Metodika obosnovaniya sposoba primeneniya robototekhnicheskikh sistem likvidatsii ekstremal'nykh situatsij pri provedenii ispytaniy i ekspluatatsii raketno-kosmicheskoy tekhniki // Informatsiya i Kosmos. 2019. № 1. S. 165–172.
16. *Cherkesov G.N.* Metody i modeli otsenki zhivuchesti slozhnykh sistem. M.: Znanie, 1987. 32 s.
17. *Shirobokov V.V., Nechaj A.A.* Algoritm planirovaniya energosberegayushchej parallel'noj obrabotki informatsii s uchetom informatsionnoj vazhnosti i vremeni postupleniya zadach // Vestnik Rossijskogo novogo universiteta. Seriya "Slozhnye sistemy: modeli, analiz i upravlenie". 2017. Vyp. 1. S. 88–93.