



УДК 004.896

И.А. Васильев, С.А. Половко, Е.Ю. Смирнова
Санкт-Петербург, Россия

ОРГАНИЗАЦИЯ ГРУППОВОГО УПРАВЛЕНИЯ МОБИЛЬНЫМИ РОБОТАМИ ДЛЯ ЗАДАЧ СПЕЦИАЛЬНОЙ РОБОТОТЕХНИКИ

I.A. Vasilyev, S.A. Polovko, E.Yu. Smirnova
St.-Petersburg, Russia

A GROUP OF MOBILE ROBOT ORGANIZATION FOR SPECIAL ROBOTICS PROBLEMS

Рассмотрены проблемы организации распределенной системы управления гетерогенной группировкой мобильных роботов для применения в специальных условиях и экстремальных ситуациях.

ГРУППОВОЕ УПРАВЛЕНИЕ. МОБИЛЬНЫЕ РОБОТЫ. НАВИГАЦИЯ. СЕНСОРЫ. ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ОПЕРАЦИИ.

The problems of the organization of a distributed control system of a heterogeneous group of mobile robots for use in special conditions and emergencies are considered.

GROUP CONTROL. MOBILE ROBOTS. NAVIGATION. SENSORS. OPERATIONS.

Постановка задачи, общие положения

Преимущества группового применения роботов в задачах экстремальной робототехники очевидны. Это и больший радиус действия, достигаемый за счет рассредоточения роботов по всей рабочей зоне, и расширенный набор выполняемых функций, достигаемый за счет установки на каждого робота индивидуальных исполнительных устройств, и, наконец, более высокая вероятность выполнения задания, достигаемая за счет возможности перераспределения целей между роботами группы в случае выхода из строя некоторых из них. Поэтому такие сложные задачи специальной робототехники, как масштабное исследование и зондирование поверхности других планет, сборка сложных конструкций в космосе и под водой, участие в боевых, спасательных и обеспечивающих операциях, разминирование территорий и т. п., могут эффективно решаться роботами только при их групповом взаимодействии. При этом возникают новые проблемы группового управления и коммуникации, связанные с организацией группового взаимодействия роботов.

Под группой роботов принято понимать группу мобильных объектов, координирующих свои действия для достижения общей цели [1].

Задачей группового управления можно назвать задачу определения и оперативной оптимизации ресурсов группы, обеспечивающих реализацию действий членов группы, необходимых для достижения групповой цели. Поскольку данная задача должна решаться с минимальным участием человека-оператора, будем говорить об интеллектуальном групповом управлении как об основном режиме управления для этого случая.

Одной из существенных сторон интеллектуального группового управления является самоорганизация. По мнению большинства исследователей, самоорганизующиеся явления (СО-явления) в естественных системах возникают из-за потери устойчивости предыдущего состояния системы в силу изменившихся внешних условий. Возникающее в соответствии с естественными законами природы новое состояние иногда оказывается «организованной структурой» [2]. В этом случае указанный переходный процесс в естественной системе называется *самоорганизующимся*. Важнейшей особенностью возникающей «организованной структуры» является ее устойчивость в сложившихся условиях. При этом в естественных условиях законы природы являются теми детерминирующими факторами, под влиянием кото-

рых протекает процесс самоорганизации. Как правило, естественная система имеет локальный минимум энергии в состоянии, соответствующем «организованной структуре».

С другой стороны, в работе [2] формулируется важное, на наш взгляд, положение о том, что самоорганизация всегда идет в соответствии с «вертикальным» и «горизонтальным» операционными принципами по определенным локальным правилам самоорганизации. При этом новые вертикальные уровни возникают тогда, когда «горизонтальное СО-явление» достигает своего предела сложности. Другими словами, для возникновения процесса искусственной самоорганизации в технической системе она должна быть построена в соответствии с определенными правилами – локальными правилами самоорганизации. Можно считать, что эти правила играют ту же детерминирующую роль в искусственной самоорганизации, что и законы природы в естественных самоорганизующихся системах.

Наряду с традиционными проблемами робототехники при групповом применении роботов возникает ряд новых проблем, и прежде всего это проблема организации взаимодействия роботов в группах при решении сложной целевой задачи и проблема коммуникации, связанная с организацией взаимодействия роботов.

Перейдем к отдельным задачам группового управления. Первой из них является определение состава и структуры группы, необходимой или даже наилучшей, для выполнения поставленной функциональной задачи. Если состав уже задан, то остается задача определения структуры группы, а также оперативного переконфигурирования, при выпадении отдельных членов группы или появления новых.

Вторая задача состоит в создании СУ группы, т. е. СУ групповых действий. Такая СУ может быть локализована на единственном роботе или распределена по группе, т. е. быть централизованной или децентрализованной. Для гетерогенной группы целесообразно выделение одного робота (как правило, с самыми мощными вычислительными ресурсами) для центра такого управления, с распределением некоторых общих функций и на других роботах группы и резервированием всех жизненно важных функций на других роботах.

Так как в общем случае для решения конкретной целевой задачи могут использоваться не все роботы группы, то для реализации задачи груп-

пового управления в целом должны быть решены следующие подзадачи:

- формирование активной части группы – кластера как совокупности роботов, сформированной для достижения той или иной конкретной цели;

- оптимальное (или близкое к нему) распределение функций между роботами группы, а также перераспределение этих функций при изменении ситуации;

- реализация функций роботами, входящими в кластер.

С учетом специфики прикладной области экстремальной или специальной робототехники выбрана гетерогенная структура группы (более мощный по вычислительным ресурсам робот организует работу членов группы).

Для практической реализации выделим следующие алгоритмические задачи:

- разработка логики функционирования группы;

- разработка логики функционирования робота в группе;

- разработка логики иерархии в группе, т. е. при каких условиях и в каких состояниях роботы будут играть роли «лидеров» и «подчиненных»;

- разработка алгоритмов коммуникации и взаимодействия в группе мобильных роботов;

- проработка технического облика группы мобильных роботов;

- определение состава интеллектуальной системы навигации для группы мобильных роботов;

- разработка алгоритмов управления оборудованием мобильного робота с учетом обобщенной информации, циркулирующей между членами группы;

- разработка алгоритмов групповой навигации с использованием информации от всех навигационных устройств роботов группы;

- разработка унифицированного бортового программного обеспечения, обеспечивающего комплексную обработку групповой информации (навигационной, видео и т. д.).

Методы исследований

Под гетерогенной группой роботов здесь понимается группа роботов с различным устройством, алгоритмами управления и задачами, а также наличием централизованного автоматического управления каждой гомогенной подгруппой. Задачи, решаемые группой гетерогенных роботов, аналогичны задачам для гомогенных



групп, однако гетерогенная специфика увеличивает число степеней свободы, понимаемых в широком смысле.

Действие группы можно разбить на последовательные или локально последовательные действия подгрупп ведущих роботов и подгрупп ведомых роботов. Отдельную роль могут представлять как один робот, так и гомогенная подгруппа. Задача разбивается на подзадачи согласно специфике отдельных ролей, которые могут также и пересекаться. Подобные задачи решаются при помощи распределенных систем управления, совместного наблюдения и передачи информации, с той разницей, что гетерогенная группа требует различного подхода к системам навигации для различных типов роботов.

Чаще всего гетерогенность необходима для успешного распределения ролей с целью обеспечения лучшего охвата патрулируемой территории.

Например, гетерогенный комплекс состоит из двух подгрупп одинаковых роботов (две гомогенных подгруппы). Первая, ведущая подгруппа, это подгруппа относительно больших роботов. Они снабжены мощными бортовыми вычислителями, большим набором сенсоров (дальномеры, телекамеры, сонары и т. д.) и предназначены для постановки задач группировке малых роботов и анализу показаний датчиков малых роботов.

Вторая, ведомая подгруппа состоит из малых роботов, снабженных более слабыми бортовыми вычислителями, малым набором сенсоров и предназначена для выполнения локальных заданий ведущей группы в плане обзора недоступных большим роботам целей и объектов.

Обе группировки роботов снабжены средствами связи по радиоканалу. Характер информационного обмена в группе роботов во многом зависит от выбора стратегии управления группой роботов. Стратегии централизованного управления группой роботов делятся на два класса: использующие принципы единоначального управления и использующие принципы иерархического управления [3].

Для экспериментальной рабочей зоны должно выполняться условие связности рабочей зоны. В любой сегмент рабочей зоны должен быть такой путь, по которому может проехать хотя бы малый робот.

Объекты интереса, которые требуется найти, не должны сливаться с фоном и иметь соответ-

ствующие датчикам размеры и поверхности.

В состав комплекса также входит удаленный пульт управления для человека-оператора. Человек-оператор посредством этого пульта может выполнять следующие действия:

- задавать сценарии работы комплекса;
- задавать цели (супервизорный режим);
- принимать решения и брать управление на себя в сложных ситуациях;
- указывать на выход из тупиковых ситуаций;
- контролировать работу комплекса на основании прогноза состояния группы.

Описание полученных результатов

Для проведения экспериментов создан макет группы, выполняющей задачи патрулирования помещений, обнаружения опасных объектов и т. п.

В данной работе использовалась группировка из трех разных мобильных роботов (рис. 1).

Технические характеристики этих роботов следующие.

1. Большая шестиколесная платформа включает в себя:
 - аккумуляторные батареи большой емкости – два автомобильных аккумулятора;
 - мощный бортовой вычислитель – промышленный компьютер;
 - радиоканал на стандарте WiFi;
 - одометры – два датчика колес (по одному на каждую сторону);
 - лазерный сканирующий дальномер, основной датчик для навигации платформы;
 - набор бесконтактных выключателей, по два в каждую сторону, итого 8 шт.
2. Средняя платформа – трехколесный мобильный робот «Pioneer», включает в себя:

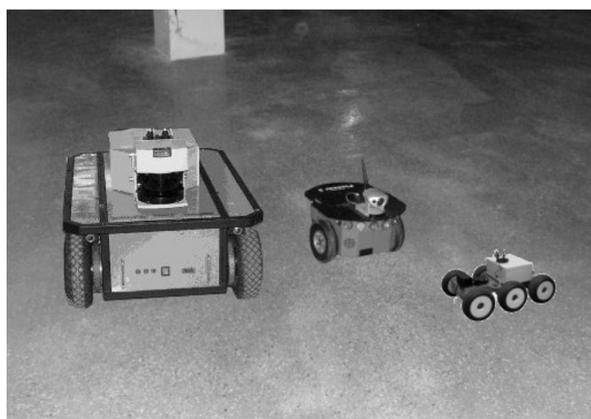


Рис. 1. Группировка из трех мобильных роботов

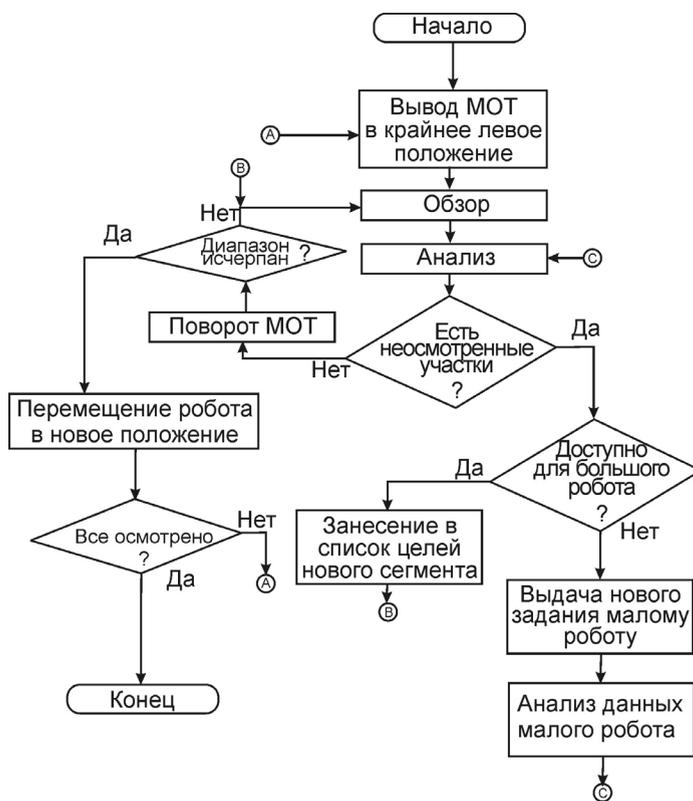


Рис. 2. Блок-схема алгоритма осмотра зоны патрулирования

аккумуляторы средней емкости;
мощный бортовой вычислитель;
радиоканал на стандарте WiFi;
одометры – два датчика, по одному на каждую сторону;

набор шестнадцати ультразвуковых дальнометров, расположенных по окружности;
телевизионную камеру, входящую в систему технического зрения, как основной датчик для навигации.

3. Малый шестиколесный мобильный робот «МИГ», включает в себя:

аккумуляторы средней мощности;
бортовой вычислитель со встроенной системой радиоканала;
одометры – по одному датчику на каждое колесо, итого 6 датчиков;
модуль из трех ультразвуковых дальнометров для уклонения от препятствий;
бесплатформенную инерциальную навигационную систему (БИНС) – основной датчик навигации.

Осмотр рабочей зоны. Задачи патрулирования являются, по существу, задачами осмотра

патрулируемой территории. Для осмотра характерно наличие возможности проникновения в различные труднодоступные сегменты территории. Эти алгоритмы просты и, фактически, служат конечными автоматами [2–4].

Алгоритм осмотра в виде блок-схемы приведен на рис. 2.

Построение карты рабочей зоны. Для успешного патрулирования желательно иметь карту патрулируемой территории. Построение карт осуществляется посредством обзора территории.

Процесс построения карты состоит из трех этапов:

- 1) занесение в рабочий список вновь увиденных сегментов. На первом этапе строится не карта, а лишь конфигурация взаимного расположения предметов в рабочей зоне;
- 2) уточнение координат уже осмотренных объектов по этапу 1 посредством приближения к ним. Производится несколько замеров этих координат для определения среднего и дисперсии;
- 3) занесение координат в окончательную базу, которую уже называем *картой местности*.

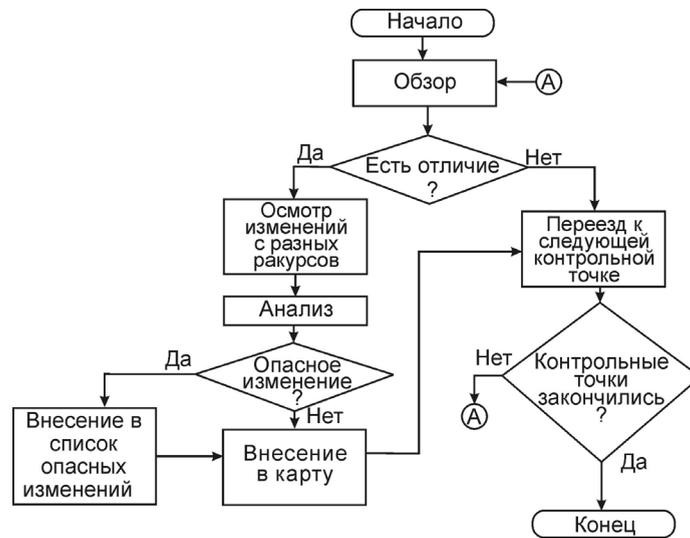


Рис. 3. Блок-схема алгоритма патрулирования

Групповое патрулирование рабочей зоны и анализ обнаруженных предметов. Групповое патрулирование необходимо для контроля изменений в рабочей зоне. Под изменениями понимается любое отличие текущей сцены от ранее запомненной и внесенной в карту. Причем все изменения в рабочей зоне должны быть классифицированы. Классы изменений таковы [4–5]:

- 1) изменение знакомых (т. е. внесенных в карту) предметов. В качестве примеров здесь могут быть такие, как открытая дверь (если ранее она была закрыта) или выдвинутый ящик стола;
- 2) перемещение знакомых предметов. Например, нахождение в другом месте предмета мебели, внесенного в карту на предыдущем этапе;
- 3) исчезновение знакомого предмета;

4) наличие незнакомого предмета.

В зависимости от конкретных целей патрулирования производится анализ выявленных изменений рабочей зоны. В случае макетирования для анализа используются два критерия – цвет и форма. Пирамидообразные предметы, а также ярко-красные и ярко-синие являются «опасными» и требуют принятия мер.

Блок-схема алгоритма патрулирования представлена на рис. 3.

Практический опыт показал, что гетерогенная группировка мобильных роботов является очень гибким инструментом решения большинства задач разведки, патрулирования, наблюдения и, возможно, даже охраны, которые возлагаются на мобильную робототехнику XXI века.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Каляев, И.А.** Планирование коллективных действий при управлении группой роботов-лифтов [Текст] / И.А. Каляев // Искусственный интеллект. –2001. –№ 3.
2. **Каляев, И.А.** Модели и алгоритмы коллективного управления в группах роботов [Текст] / И.А. Каляев, А.Р. Гайдук, С.Г. Капустян. –М.: Физматлит, 2009. –280 с.
3. **Картавцев, К.В.** Модель детерминированной сети роботов [Текст] / К.В. Картавцев, О.Н. Мелехова, С.В. Тимченко // Доклады ТУСУРа. –2010. –№ 1 (21). –Ч. 1.
4. **Иванов, Д.Я.** Информационный обмен в больших группах роботов [Текст] / Д.Я. Иванов // Искусственный интеллект. –2010. –№ 4.
5. **Тимофеев, А.В.** Принципы построения интегрированных систем мультиагентной навигации и интеллектуального управления мехатронными роботами [Текст] / А.В.Тимофеев, Р.М. Юсупов // Information Technologies & Knowledge. –2011. –Vol. 5. –№ 3.