



УДК 621.865:004.896:623

**А. В. Лопота, С. А. Половко, Е. Ю. Смирнова,
М. Н. Плавинский**

*ЦНИИ Робототехники и технической кибернетики,
г. Санкт-Петербург, Россия*

ОСНОВНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ И ПЕРСПЕКТИВНЫЕ НАПРАВЛЕНИЯ ИССЛЕДОВАНИЙ В ОБЛАСТИ НАВИГАЦИИ И УПРАВЛЕНИЯ МОБИЛЬНЫМИ РОБОТОТЕХНИЧЕСКИМИ КОМПЛЕКСАМИ

Представлено текущее состояние дел в области управления автономными мобильными роботами. Рассмотрена возможность использования принципов интерпретирующей навигации для повышения автономности мобильных роботов.

Ключевые слова: мобильный робот, интерпретирующая навигация, сенсоры, комплексирование.

**A. V. Lopota, S. A. Polovko, E. Yu. Smirnova,
M. N. Plavinskiy**

*Russian State Scientific Center for Robotics and Technical Cybernetics,
Saint-Petersburg, Russia*

THE MAIN RESULTS AND PERSPECTIVE DIRECTIONS OF RESEARCH IN THE FIELD OF NAVIGATION AND CONTROL OF MOBILE ROBOTIC SYSTEMS

The state-of-the-art in the field of autonomous mobile robot's control is presented. The possibility of using an qualitative navigation to improve mobile robot's autonomy is considered.

Key words: mobile robot, qualitative navigation, sensor fusion.

В области экстремальной робототехники выделяются следующие основные задачи:

- мониторинг, разведка и рекогносцировка опасных для человека зон;
- целенаправленный поиск определенных объектов интереса, их идентификация и точная локализация при проведении поисковых и/или аварийно-спасательных работ;
- работа с найденным объектом интереса (осмотр, маркирование, обезвреживание и другие манипуляции).

Задача повышения уровня автономности мобильных роботов, решающих перечисленные задачи, является критически важной по следующим причинам:

- уменьшается влияние человеческого фактора (человека-оператора) и повышается надежность выполнения операций в экстремальных условиях;
- сокращается время выполнения операций за счет автоматического выбора оптимальных маршрутов и режимов работы робота (особенно важно при работе в радиационных полях и других агрессивных средах);

- снижается риск потери дорогостоящего комплекса в условиях неустойчивой связи с роботом.

Разработка средств интеллектуального управления и автономной навигации, обеспечивающих возможность принятия роботом самостоятельных решений при работе в сложных условиях, – необходимое условие создания робототехнических систем, способных реально заменить человека при работе в экстремальных условиях. При этом необходима унификация технологий и элементов робототехники с целью их использования:

- комплексно в составе многофункциональных робототехнических систем;
- выборочно на различных мобильных платформах;
- в составе группы мобильных роботов.

Опыт собственных работ и анализ публикаций в предметной области показали, что одним из наиболее современных и комплексных подходов к созданию автономных мобильных роботов является практическое использование принципов интерпретирующей навигации [1]. В настоящее время известен ряд наземных мобильных роботов, обладающих относительной автономностью при решении задач перемещения в условиях плохо априорно определенной карты препятствий. Как правило, их самостоятельность ограничена возможностью обхода локальных препятствий. Также известны навигационные комплексы, в которых реализована совместная обработка информации различной физической природы (GPS/ГЛОНАСС и инерциальной системы). Недостатком таких комплексов являются: зависимость от внешнего источника навигационных данных (спутника) и недостаточный уровень комплексирования (не используются видеoinформация и семантический уровень представления данных). Более высокий уровень автономности робота может быть достигнут за счет более полного использования всех каналов информации об окружающем мире, включая семантический уровень представления данных. Такой подход позволит приблизить систему навигации и определения ориентации робота к той, которая реализуется интеллектом человека и объединяет зрение, вестибулярный аппарат, осязание и семантическое представление о мире в рамках когнитивных карт. Таким образом, могут быть существенно повышены безопасность и эффективность выполнения слож-

ных операций в экстремальных условиях. Средства определения ориентации объектов в пространстве и их взаимного расположения позволят также решать задачи группового взаимодействия роботов. Суть интерпретирующей навигации заключается в том, что положение МР на местности определяется не в декартовой системе координат, а на основе описаний окружающего пространства на языке наблюдаемых особенностей среды – ориентиров и наблюдаемых изменений в процессе движения (рис. 1).

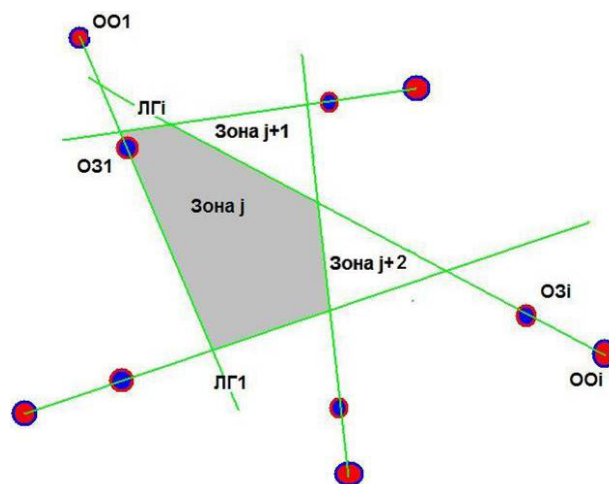


Рис. 1. Навигация в пространстве ориентиров:
ОО – ориентир опорный; ОЗ – ориентир-затенитель; ЛГ – линия границы

В качестве ориентиров могут использоваться как особенности операционной зоны, видимые телевизионной камерой, так и данные, получаемые от пространственных пеленгаторов различной физической природы (гамма-визоров и гамма-локаторов, лазерных, ультразвуковых измерителей и т.п.). Карта, которая формируется на базе указанных признаков, представляет собой пространство признаков, описывающих последовательность локальных целеуказаний или точек обсервации, маршрут между которыми преодолевается без семантического анализа пространственной сцены. На пути следования из одной точки обсервации в другую средствами локальной навигации решаются только задачи обеспечения безопасности движения, объезда локальных препятствий и т.п. Использование собственных сенсоров робота и построение топологических (не-метрических) карт операционной зоны решают также проблему потери робота в отсутствие внешних систем позиционирования.

Исходя из сказанного, при создании систем управления автономных робототехнических систем в ЦНИИ РТК проводилась работа по следующим научно-техническим направлениям:

- разработка типовых сценариев работы автономных роботов и формирование соответствующих фреймов операций робота (технологических операций);
- определение базового и расширенного состава сенсоров и методов их комплексирования;
- разработка открытой архитектуры бортовой системы управления;
- создание алгоритмического и программного обеспечения верхнего уровня управления на базе фреймов операций робота;
- создание эргономичных человеко-машинных интерфейсов, максимально облегчающих работу оператора в супервизорном режиме управления роботом.

Технологические операции (ТОП), реализованные в проектах ЦНИИ РТК, разделены на три группы:

1. ТОП системы обеспечения безопасности робота, обеспечивающие правильную реакцию робота на превышение допустимых параметров наклона, сближения с препятствием, опасных для робота параметров физических полей (температура, уровень радиации).
2. Расчетные ТОП, обеспечивающие построение траекторий, локализацию и идентификацию объектов интереса, построение и коррекция карты.
3. ТОП отработки команд, обеспечивающие отработку заданных режимов функционирования робота.

Базовый набор сенсоров на роботах ЦНИИ РТК обеспечивает безопасное функционирование автономного робота или его выживание при отказе более сложных систем и включает:

- датчики положения приводов и шарниров;
- датчики контроля исправности блоков бортовой аппаратуры;
- датчики разряда батарей;
- БИНС или инклинометры (выполнена собственная разработка малогабаритного навигационного модуля на базе БИНС);
- дальнометры ближнего радиуса (выполнена собственная разработка малогабаритного блока ультразвуковых дальнометров);
- телевизионную камеру.

В зависимости от решаемых задач роботы могут быть укомплектованы дополнительными датчиками, а именно:

- датчиками физических полей (гамма-пеленгаторы, тепловизоры);
- устройствами позиционирования GPS/GLONASS;
- 3D-проекторами на базе устройств структурированной лазерной подсветки;
- дальнометрами с большим диапазоном измерений.

Расширение функциональных возможностей робота при минимизации весогабаритных характеристик и энергопотребления автономного мини-робота достигается за счет комплексирования различных классов сенсоров.

В качестве унифицированной операционной платформы для бортовых систем управления в разработках ЦНИИ РТК используются малогабаритные вычислители и процессоры (ARM, MIPS, x86) и операционная система OS UNIX. Комплекс сенсорных и исполнительных устройств объединен бортовой вычислительной сетью CAN или Ethernet. Это позволяет унифицировать структуру бортового ПО, повысить надежность его функционирования и существенно повысить скорость разработки новых робототехнических систем.

На основании анализа необходимых расчетных ТОП были сформулированы и разработаны следующие алгоритмы верхнего уровня управления автономным мобильным роботом:

- построения и корректировки карт (для мобильных платформ);
- оперативной локализации робота в карте (для мобильных платформ);
- поиска ориентиров и целеуказания (для мобильных платформ и манипуляторов);
- построения маршрутов и траекторий (для мобильных платформ и манипуляторов);
- локальной навигации (обнаружение и обход препятствий).

Перечисленные алгоритмы были реализованы в многофункциональных мобильных комплексах «МРК-2», «РТК-08» и экспериментальных платформах, некоторые из которых показаны на рис. 2–6.

Были получены следующие наиболее важные практические результаты.

1. Разработаны и запатентованы способы навигации мобильных роботов в радиационных полях, включая навигацию в поле множества источников излучения [2].

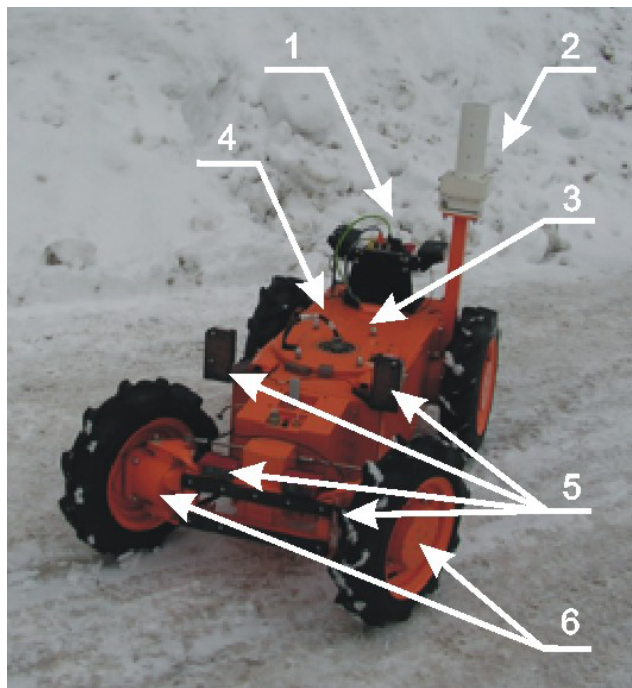


Рис. 2. Робот МРК-2: 1 – лазерный сканирующий дальномер; 2 – блок детектирования гамма-излучения; 3 – бесплатформенная инерциальная навигационная система; 4 – модуль GPS; 5 – бесконтактные выключатели; 6 – одометры



Рис. 3. Мобильный робототехнический комплекс радиационной разведки

2. Реализовано алгоритмическое и программное обеспечение для формирования 3D карт и когнитивных карт внешнего мира робота по телевизионной монокамере, обеспечивающее:
 - формирование и сохранение пространственной карты зоны, более чем на порядок превышающей линейные размеры робота;
 - объединение нескольких взаимодополняющих карт;

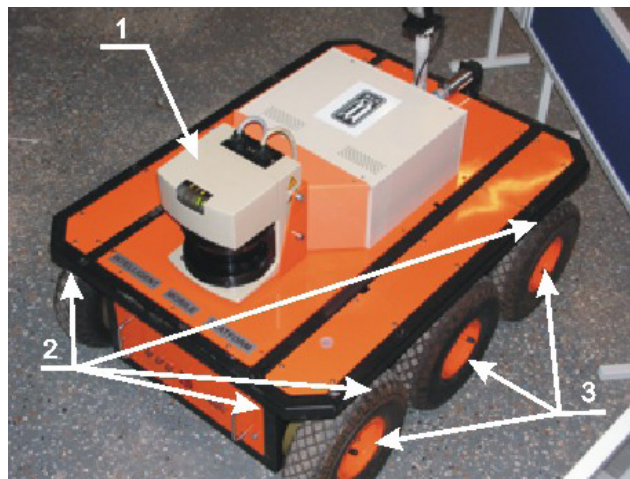


Рис. 4. Исследовательская мобильная платформа: 1 – лазерный сканирующий дальномер; 2 – бесконтактные выключатели; 3 – одометры

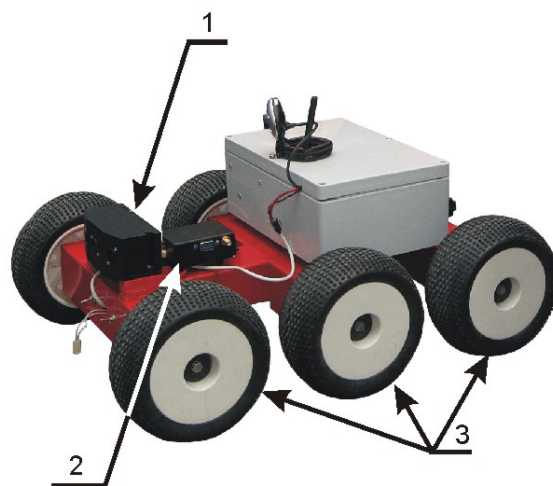


Рис. 5. Мини-платформа с изменяемой геометрией – МИГ: 1 – блок ультразвуковых дальномеров (3 шт.); 2 – бесплатформенная инерциальная навигационная система; 3 – одометры

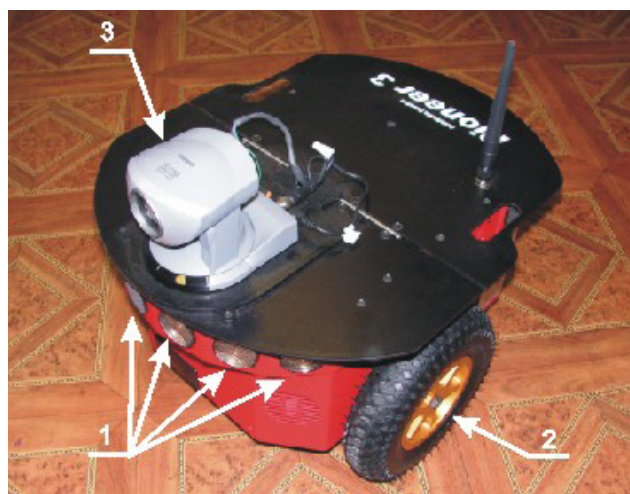


Рис. 6. Исследовательская мобильная платформа Pioneer: 1 – ультразвуковые дальномеры (16 шт.), 2 – датчики колёс; 3 – телекамера

- локализацию и автоматическое перемещение робота в объединенной карте.
- 3. Исследована возможность использования данных сенсорной системы робота для формирования интерфейса с оператором в супервизорном режиме управления по технологии дополненной реальности [3; 4], включая:
 - отображение элементов траектории движения на изображении, получаемом с телевизионной камеры;
 - отображение измеренных направлений на объекты интереса и расстояний до них (актуально для радиационной разведки);
 - отображение планируемой траектории движения для визуального контроля её реализуемости.

Проведенные теоретические исследования и полученные результаты позволяют очертить перспективные направления работ в ЦНИИ РТК на ближайшие 3–5 лет:

1. Разработка программно-аппаратных модулей построения и коррекции когнитивных карт рабочей зоны робототехнической системы.
2. Разработка унифицированного модуля автономной навигации роботов в радиационных полях.
3. Разработка унифицированного программно-аппаратного модуля видеоаналитики.
4. Создание унифицированного информационно-управляющего комплекса автономной навигации мини-роботов на базе комплексирования инерциальных, ультразвуковых и оптических сенсоров с обеспечением целеуказания по телевизионному кадру.
5. Создание системы управления с адаптивной сетевой структурой для гетерогенной группы робототехнических систем.

6. Создание унифицированной системы групповой навигации роботов.
7. Разработка универсального поста управления робототехнической системой с использованием комбинированных форм отображения информации на телевизионных кадрах, 3D-картах и мнемосхемах.
8. Разработка унифицированного тренажерного комплекса для подготовки операторов робототехнических систем.
9. Исследование технических возможностей создания систем нейрокомандного управления мобильными робототехническими системами.

Библиографические ссылки

1. Кирильченко А. А., Платонов А. К., Соколов С. М. Теоретические аспекты организации интерпретирующей навигации мобильного робота. М. : Препринт Ин-та прикл. математики им. М. В. Келдыша РАН, 2002. № 5. 40 с.
2. Устройство для осуществления навигации робота в полях гамма-излучения : пат. 2390799 Рос. Федерация: МПК⁷ C1 / В. А. Лопота, В. И. Юдин, А. В. Полин, В. П. Демченков, С. А. Половко, Е. Ю. Смирнова, А. Н. Власенко, О. Е. Лапин, М. Н. Плавинский ; заявитель и патентообладатель ЦНИИ РТК. – №2009102581/28 ; заявл. 26.01. 09; опубл. 27.05.10, Бюл. № 15. 7 с.
3. Haller M., Billinghurst M., Thomas B. Emerging Technologies of Augmented Reality: Idea Group Publishing, 2006. 399 p.
4. Dähne P., Karigiannis J. N. Archeoguide: System Architecture of a Mobile Outdoor Augmented Reality System. ISMAR '02 Proceedings of the 1st International Symposium on Mixed and Augmented Reality table of contents, p. 263.

*Статья поступила в редакцию
21.02.2013 г.*