

УДК 621.382

К.Ю. Дергачев, А.Н. Радомский

*Национальный аэрокосмический университет им. Н.Е. Жуковского «ХАИ», Харьков*

## ПРИНЦИПЫ УПРАВЛЕНИЯ МОБИЛЬНЫМ ШАГАЮЩИМ РОБОТОМ В КОМПЛЕКСЕ ЗАДАЧ ТЕХНИЧЕСКОГО МОНИТОРИНГА

*Предложены общие принципы управления мобильным шагающим роботом, а также общая структура системы управления таким объектом.*

**Ключевые слова:** алгоритмы управления, мобильный шагающий робот.

### Введение

**Постановка проблемы.** Анализ современных малогабаритных аппаратов, предназначенных для решения различных задач в условиях ограниченного пространства, показал, что существует ряд случаев, когда энергетически не выгодно, либо невозможно использовать летающий аппарат [1], а также невозможно эффективно решать поставленные задачи с помощью колесных машин в условиях поверхности, не предназначенной для их движения. Под ограниченным пространством [2] здесь подразумевается закрытое помещение промышленного объекта, имеющее большое количество препятствий различного рода, таких как машины и механизмы, различные преграды, которые аппарат не может преодолеть, а так же ступеньки, пороги либо другие изменения уровня поверхности помещения.

При решении задач мониторинга [2] таких объектов с помощью малогабаритных летательных аппаратов, возникают существенные трудности навигации аппарата в сложной обстановке. Управление летательным аппаратом [1] в трехмерном пространстве с препятствиями является задачей нетривиальной и для каждого типа замкнутого окружающего пространства в отдельности требует разработки соответствующих алгоритмов управления. Сложность навигационной задачи, которую аппарат вынужден решить на борту, определяет время, проведенное аппаратом в воздухе без совершения полезных действий, что влечет за собой расходование весьма ограниченного ресурса топлива.

Для колесных машин [3] одним из значительных ограничений является частое изменение уровня поверхности, по которой происходит движение, что требует установки пандусов и других конструкций, которые позволили бы такому колесному средству преодолеть ступеньки и пороги различной высоты.

В статье будет рассмотрен малогабаритный мобильный робот, являющийся не таким требовательным к топливным ресурсам, как летательный аппарат, и способный преодолевать препятствия, высота которых превышает радиус колеса соответствующего колесного средства.

**Анализ последних достижений и публикаций.** Создание шагающих роботов и исследования в этой области стали активно развиваться, начиная с 70-х годов прошлого века, одним из оснований чему послужил резкий рост мощности вычислительной техники.

На сегодняшний день существует целый ряд промышленных и военных шагающих машин различного назначения, а также ряд образцов, созданных в различных странах для лабораторных исследований.

Среди мировых разработок стоит выделить разработку американской компании DARPA Dynamics, презентовавшей в 2005 году мобильного робота-мула, предназначенного для перемещения груза до 110 килограмм за солдатами в зоне боевых действий. Так же в DARPA разработан ряд различных образцов, таких как робот Cheetah, моделирующий различные этапы бега гепарда, способный развивать скорость до 19 километров в час, а также малогабаритный робот, оснащенный набором сенсоров, и имеющий возможность обучения в процессе перемещения для выработки наиболее эффективных алгоритмов движения по неровной поверхности. В 2010 году в московском технологическом институте имени Баумана был создан двуногий шагающий робот для исследований подобной динамической схемы.

**Цель статьи** состоит в формировании общих принципов управления мобильным роботом.

### Основной материал

Разработан мобильный робот, имеющий возможность транспортировать на борту грузы массой до шестидесяти процентов от своей массы. В составе системы управления робот имеет трехступенной блок цифровых акселерометров и две видеокамеры, разрешающей способностью 640×480 точек, работающие в оптическом диапазоне. Кинематическая схема состоит в следующем: к основной несущей балке конструкции сверху горизонтально прикреплена платформа для размещения полезной нагрузки, с таким расчетом, чтобы распределение массы полезной нагрузки приходилось симметрично вдоль продольной оси симметрии конструкции, под балкой находятся крепления для установки аккумуляла-

торных батарей, к концам балки прикреплены на подшипниковой опоре симметричные плечи так, чтобы была возможность их вращения вокруг двух вертикальных осей соответственно. Также на обоих плечах установлено по три привода, обеспечивающих поддержание всей платформы в вертикальной плоскости и вращение плеч. Пара приводов обеспечивает поворот каждого из плеч в горизонтальной плоскости, четыре же остальных привода служат для поднимания и опускания опор конструкции и поддержания ее в вертикальной плоскости.

Видеокамеры установлены по краям одного из плеч и направлены по направлению движения платформы. Такая особенность позволяет отказаться от системы позиционирования видеокамер, что значительно упрощает алгоритмы навигации. Кинематика платформы разрабатывалась специально для эффективного управления видеокамерами. Отличительной особенностью кинематической схемы известных аналогов, использующих четыре опоры, от данного аппарата является то, что аналоги используют опоры, каждая из которых имеет минимум две вращательные степени свободы. Такая схема делает систему перемещения платформы более требовательной к энергетическим ресурсам, но дает возможность размещения всех элементов конструкции и полезной нагрузки на неподвижном корпусе. Рассматриваемый здесь аппарат имеет подвижный корпус, что дает ему преимущество по энергозатратам перед аналогами.

Задачи, решение которых будет проводиться с помощью рассматриваемого мобильного робота, можно объединить в несколько групп:

- задачи, где необходим осмотр либо постоянный мониторинг объекта без участия человека;
- задачи осмотра аварийных объектов и предварительный контроль состояния объектов претерпевших аварию.

Управление объектом такого типа фактически сводится к управлению сервоприводами. На данном этапе проектирования в конструкции используются аналоговые сервоприводы TowerPro-90, управляемые широтно-модулированными импульсами. Выходной вал сервопривода имеет возможность поворачиваться в диапазоне от 0 до 180 градусов. Угол поворота выходного вала сервопривода определяется шириной управляющих импульсов. Для использованных приводов управляющие импульсы шириной равной 50мс служат сигналом поворота качалки в крайнее положение против часовой стрелки, импульсы шириной 30мс служат сигналом поворота в крайнее положение по часовой стрелке условно приравненные к 0 и 180 градусов соответственно.

На данном этапе система управления состоит из основного блока, отвечающего за управление сервоприводами в соответствии с командами оператора, либо контуром управления более высокого уровня, а также корректирующего блока, в котором

величины для управления сервоприводами преобразовываются в соответствии с показаниями блока датчиков. До поступления новой команды система циклически выполняет последнюю полученную команду. Таким образом, при формировании оператором либо контуром управления более высокого уровня сигнала о типе движения платформы, в основном блоке для сервоприводов формируются зависимости ширины управляющих импульсов от времени. Далее, в блоке коррекции, используя показания блока датчиков, эти зависимости преобразуются так, чтобы робот продолжал движение заданного ранее типа, не теряя его эффективности.

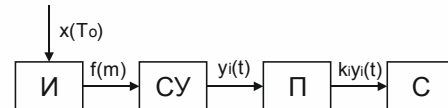


Рис. 1. Структура системы

На рис. 1:

И – интерфейс взаимодействия с системой; СУ – система управления; П – преобразователь; С – сервоприводы;  $x(T_0)$  – входной сигнал системы в двоичном виде;  $T_0$  – период дискретизации при передаче данных;  $f(m)$  – управляющий сигнал на входе системы;  $y_i(t)$  – сигналы управления сервоприводами;  $k_i$  – коэффициент преобразования  $i$ -го сигнала.

$$i \in \{1..6\} \quad (1)$$

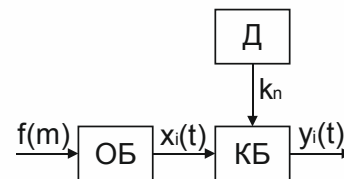


Рис. 2. Схема системы управления

На рис. 2:

ОБ – основной блок; КБ – корректирующий блок; Д – блок датчиков;  $x_i(t)$  – зависимости для управления сервоприводами;  $k_n$  – показания  $n$ -го датчика.

$$n \in \{1..3\} \quad (2)$$

Алгоритмы управления роботом строятся исходя из структуры системы по описанному выше принципу – формируется управляющая команда  $x(T_0)$ , которая затем передается на вход интерфейса взаимодействия с системой. После получения команды формируются величины для управления сервоприводами и величины задержек в их работе, и формируется управляющий сигнал  $f(m)$ . Системой управления формируются зависимости управления сервоприводами  $x_i(t)$ , затем опрашиваются датчики, и корректирующим блоком формируются коэффициенты для сигнала управления сервоприводами, после чего управляющий сигнал, преобразованный в соответствии с показаниями датчиков, поступает на вход аналогового преобразовательного блока, управляющего уровнем сигнала в соответствии с характеристиками сервоприводов.

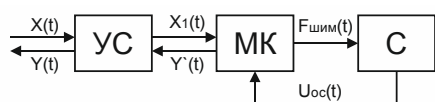


Рис. 3. Общая структура устройства

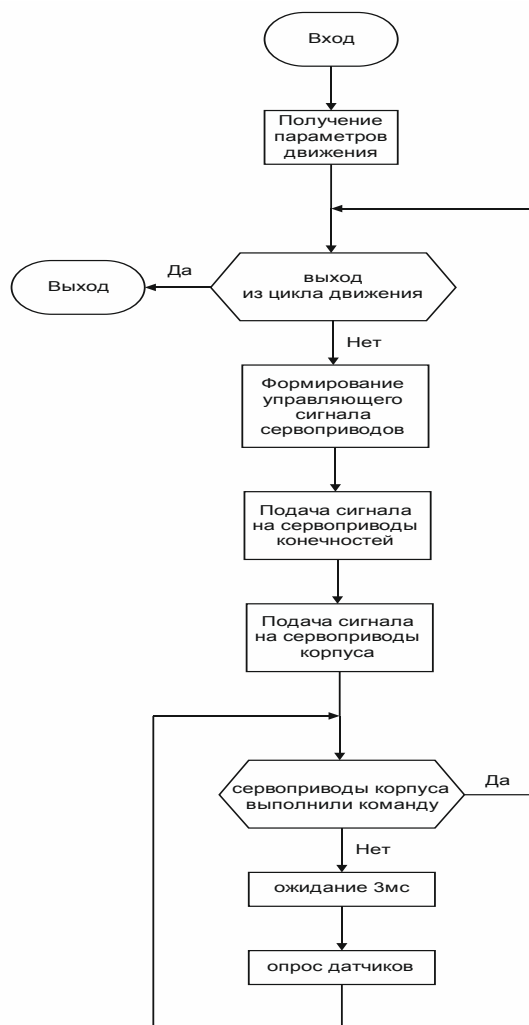


Рис. 4. Общий алгоритм управления

На рис. 3:

УС – устройство сопряжения; МК – микроконтроллер; С – сервоприводы;  $X(t)$  – управляющие сигналы;  $Y(t)$  – выходные сигналы;  $X_1(t)$  – управляющие сигналы контроллера;  $Y'(t)$  – выходные сигналы контроллера;  $F_{шмм}(t)$  – широтно модулированные сигналы управления сервоприводами;  $U_{обс}(t)$  – напряжение обратной связи сервоприводов.

В случае потери аппаратом динамической устойчивости во время движения по маршруту, геометрия и взаимное расположение органов аппарата позволяют системе управления вернуть его работоспособное состояние путем выполнения ряда манипуляций подвижными частями механической системы. При потере динамической устойчивости аппарат в первую очередь приводится в статически устойчивое состояние, затем в несколько этапов центр тяжести перемещается относительно центра масс таким образом, что аппарат разворачивается вокруг продольной оси симметрии на 180 градусов. Побочным эффектом таких действий является разворот аппарата на 30 градусов вокруг вертикальной оси, что требует в дальнейшем дополнительных перемещений для возвращения аппарата на исходный маршрут следования.

## Выводы

Полученные в статье принципы управления и общая структура системы управления мобильным роботом могут быть использованы для исследования различных эксплуатационных характеристик как существующих, так и перспективных транспортных средств подобного типа.

## Список литературы

1. Матвеев С.И. Высокоточные системы РВ и А: перспективы и основные направления работ по созданию разведывательно-ударных и разведывательно-огневых комплексов / С.И. Матвеев // Военная мысль. – 2003. – № 2. – С. 23-27.
2. Мясников Е.В. Высокоточное оружие и стратегический баланс (издание Центра по изучению проблем разоружения, энергетики и экологии при МФТИ). [Текст] / Е.В. Мясников. – Долгопрудный, 2000. – 43 с.
3. Дергачов К.Ю. Методика визначення оптимальних маршрутів руху рухомих об'єктів у комплексі задач командного пункту диспетчерської системи [Текст] / К.Ю. Дергачов, С.М. Флерко, Д.В. Кравцов // Системи обробки інформації. – Х.: НАНУ, ПАНМ, ХВУ, 2005. – Вип. 1. – С. 213-217.

Поступила в редколлегию 27.08.2012

**Рецензент:** д-р техн. наук, проф. В.М. Илюшко, Национальный аэрокосмический университет им. Н.Е. Жуковского «ХАИ», Харьков.

## ПРИНЦИПИ УПРАВЛІННЯ МОБІЛЬНИМ КРОКУЮЧИМ РОБОТОМ В КОМПЛЕКСІ ЗАВДАНЬ ТЕХНІЧНОГО МОНІТОРИНГУ

К.Ю. Дергачов, А.Н. Радомський

*Запропоновані загальні принципи управління мобільним крокуючим роботом, а також загальна структура системи управління таким об'єктом.*

**Ключові слова:** алгоритми управління, мобільний крокуючий робот.

## MODEL OF INTELLIGENT WALKING ROBOT WITH A TECHNICAL VISION SYSTEM

K.Yu. Dergachev, A.N. Radomsky

*Proposed general principles of mobile walking robot as well as the general structure of the control system for such object.*

**Keywords:** management algorithms, stepping mobot.