

УДК 621.37/39.019.3

# СОЗДАНИЕ УНИВЕРСАЛЬНЫХ МНОГОФУНКЦИОНАЛЬНЫХ УСТРОЙСТВ ДЛЯ МАКЕТИРОВАНИЯ СИСТЕМ АВТОМАТИЗИРОВАННОГО УПРАВЛЕНИЯ МОБИЛЬНЫМИ УСТРОЙСТВАМИ

С.И. Теслюк, Харьковский национальный университет радиоэлектроники

*В статье на основании проведенного анализа известных структур систем приводов, используемых в робототехнике, сформулированы требования к проектируемому комплексу приводов.*

*У статті на підставі проведеного аналізу відомих структур систем приводів, які використовуються в робототехніці, сформульовані вимоги до проєктованого комплексу приводів.*

*In the article, based on the analysis of known structures of drive systems used in robotics, the requirements for the projected drive complex are formulated.*

**Ключевые слова:** мобильный робот, система приводов, контроллер, ИК - излучение.

## Введение

В настоящее время наиболее целесообразной представляется разработка комбинированных систем с возможностями автоматического и дистанционного supervisory управления. Например, «захват» дороги и выход на нее осуществляет человек, а движение по дороге - автоводитель, поиск ориентиров на местности и их идентификацию - человек, вычисление местоположения робота - бортовая система управления [1]. Исключение человека из процесса непосредственного управления резко сокращает объем передаваемой через эфир информации, а возможность его вмешательства в сложных ситуациях расширяет круг решаемых задач. Кроме того, автоматическая система обеспечивает продолжение выполнения задания или эвакуацию робота из опасной зоны при нарушении связи из-за применения средств радиоподавления или отказа радиооборудования.

Применение мобильного робота более эффективно при использовании последнего в составе робототехнического комплекса, образованного группой мобильных роботов, средствами доставки, энергообеспечения и технического обслуживания, центральным постом управления и обработки данных.

Мобильные роботы универсальны и поэтому могут быть использованы в разных областях [2]. Применительно к использованию робототехники в военных целях и в чрезвычайных ситуациях приоритетное значение имеют технические "способности" роботов, пригодность к эксплуатации в жестких и экстремальных условиях и способность обеспечить защиту обслуживающего персонала. При использовании роботов в гражданской промышленности наибольшее значение придается их экономической эффективности.

## Обзор аналогичных конструкций

### Мобильный робот ИРИС-2

Общий вид мобильного робота ИРИС-2 представлен на рис. 1. С конструктивной и функциональной точек зрения робот включает в себя следующие компоненты:

- транспортный модуль с приводом-двигателем;
- технологический модуль, содержащий видеокамеру;
- силовой модуль;
- бортовой контроллер движения;
- сенсорный модуль;
- модуль связи.

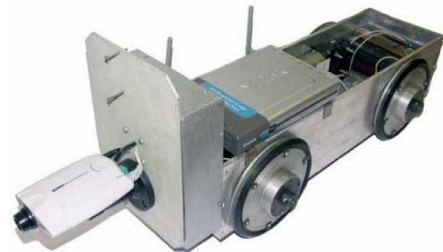


Рис. 1. Общий вид мобильного робота ИРИС-2

Объектом разработки является комплекс цифровых приводов. Комплекс включает в себя два привода: привод двигателя мобильного робота и привод установленной на роботе видеокамеры.

На основании проведенного анализа известных структур систем приводов, используемых в робототехнике, и особенностей процесса функционирования робота ИРИС-2 сформулированы требованиями к проектируемому комплексу приводов. Они являются основой для всех остальных решений, принятых в процессе проектирования. Прежде всего, в мобильном роботе ИРИС-2 решено использовать структуру комплекса приводов, которая представлена на рисунке 2.

В состав комплекса входят цифровой контроллер и две идентичные подсистемы регулирования токов, включающие в себя силовые исполнительные части приводов. Контроллер, управляющий одновременно двумя исполнительными двигателями, включает в себя управляющую ЭВМ, архитектура которой соответствует архитектуре персонального компьютера, устройство обработки сигналов фотоимпульсных датчиков для замыкания обратных связей и двуканальный цифро-аналоговый преобразователь.



Рис. 2. Структурная схема комплекса приводов

С помощью ЭВМ программно реализованы регуляторы положения и скорости двух приводов, а также формирователь задающих воздействий. Из соображений унификации подсистемы регулирования токов и исполнительные части обоих приводов комплекса имеют одинаковые структуры и используемую элементную базу. Каждая подсистема включает в себя регулятор тока, транзисторный силовой преобразователь, датчик тока и исполнительный двигатель.

Такое решение удобно тем, что позволяет оформить каждую подсистему регулирования тока как обособленный в функциональном и конструктивном отношении модуль.

С целью расширения полосы пропускания подсистемы регулирования тока, упрощения решения задачи ограничения тока якоря на заданном максимальном уровне и одновременно для удешевления аппаратуры приводов используется релейный закон регулирования.

Для повышения быстродействия подсистемы релейный закон регулирования тока осуществляется посредством аналогового компаратора с положительной обратной связью, которая вводит гистерезис в его характеристику, связывающую вход и выход.

Для повышения надёжности и расширения функциональных возможностей подсистемы в силовом преобразователе использованы современные быстродействующие силовые ключи на основе полевых MOSFET транзисторов. Это позволило легко решить проблему охлаждения силовых транзисторов при высокой частоте их переключения. Применение специальных интегральных микросхем-драйверов позволило упростить организацию управления силовыми ключами. В состав функций драйверов включены возможность переключения ключей логическим сигналом и исключение сквозных токов через транзисторы силового моста при их переключении. Особенность разработанной схемы состоит в том, что, в отличие от традиционных схемных решений, верхние плечи драйверов запитываются постоянными напряжениями от специально организованных источников с гальванической развязкой. Это позволило добиться неограниченной длительности включения силовых ключей верхнего уровня и устранить опасность функциональных отказов, связанных с разрядом конденсаторов.

Реализация алгоритма переключения ключей силового преобразователя предусматривает использование специальной логической схемы. Она введена для повышения безопасности работы приводов, и даёт, в частности, возможность принудительной остановки двигателей в аварийных ситуациях.

Замыкание обратной связи по току имеет ряд особенностей. Для повышения быстродействия и упрощения структуры подсистемы регулирования тока применяется непосредственное измерение тока якоря с помощью датчика тока в виде сериесного сопротивления без использования АЦП и гальванической развязки. При этом в схему включены два специально подобранных инструментальных усилителя, позволяющих решить проблему измерения малого дифференциального напряжения, падающего на сериесном резисторе, при наличии большого синфазного напряжения, обусловленного характером коммутации транзисторов силового преобразователя.

Робот имеет бортовой источник энергии, выдающий только однополярное напряжение 12В. Поэтому для питания усилителей и компаратора двухполярным напряжением разработан и изготовлен импульсный транзисторно-трансформаторный преобразователь напряжения. Для питания микросхем драйверов использован этот же преобразователь.

Подсистема регулирования тока реализована и испытана совместно с двигателем мобильного робота ИРИС-2. Фотографии реализованной конструкции устройства представлены на рисунке 3.

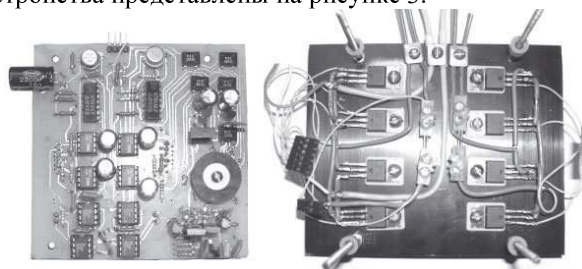


Рис. 3. Реализация устройства

Конструктивно радиатор с силовыми ключами и печатная плата объединены в единый закрытый блок, монтируемый в соответствующем отсеке мобильного робота.

В результате компьютерного моделирования подсистемы регулирования тока была подобрана ширина петли гистерезиса, позволяющая получить колебания тока якоря двигателя с частотой 10 кГц при нулевой средней составляющей тока.

### Разработка структурной схемы устройства

Рассмотрим пример конструктивного исполнения аналогичного мобильного робота P1.

Робот P1 представляет собой автономную мобильную конструкцию с бортовым вычислителем для выполнения заранее определенного набора задач движения по ИК-маякам. Кинематической схемой робота является схема двускатной тележки с управляемой передней поворотной вилкой и ведущими задними колесами.

Элементы, из которых состоит робот, можно разделить на механическую, электромеханическую и электронную группы.

К механической группе относится дюралюминиевое шасси робота, на котором смонтированы все остальные элементы конструкции, три колеса робота, а также редукторы задних ведущих колес – понижающая передача с диском квадратного счетчика и последующей ременной передачей на валы колес, и редуктор передней вилки с выходом на прецизионный потенциометр датчика угла поворота вилки. Переднее поворотное колесо является свободно посаженным на ось вращения. Структурная схема робота, содержащая элементы электронной и электромеханической групп, приведена на рисунке 4.

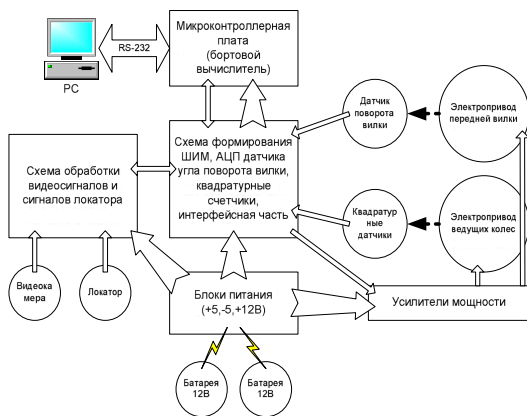


Рис. 4. Структурная схема мобильного робота

Рассмотрим более подробно элементы приведенной схемы. Тонкими стрелками на схеме указаны информационные потоки (управляющие сигналы), широкими стрелками – силовые линии для передачи напряжения питания, пунктирными – механические связи. В качестве бортового вычислителя использована стандартная промышленная микроконтроллерная плата отечественного производства, построенная на базе микроконтроллера КМ1816ВЕ31, работающего с тактовой частотой 11 МГц, аналога широко известного 8-ми разрядного контроллера i8051 фирмы Intel. В архитектуру вычислителя входят:

- внешняя оперативная память (ОЗУ) – 8 кБ для хранения кода бортовой программы, которая должна быть загружена перед запуском робота с внешнего компьютера;

- внешняя постоянная память (ПЗУ) – 8 кБ для хранения кода программы инициализации платы и обмена с внешним компьютером, который может быть подключен к плате через интерфейс RS-232;

- периферийная логика для организации внешней шины данных и портов ввода/вывода;

- интерфейс RS-232 для связи с внешним компьютером.

Остальная электроника робота может быть разделена на несколько блоков:

- схема обработки видеосигналов и сигналов локатора – отвечает за обработку видеосигналов с видеокамер и сигналов ИК-локатора. Содержит аналоговую часть работы с видеосигналом, цифровую часть оцифровки этого сигнала и схему его передачи в бортовой вычислитель, схему обработки сигналов локатора и управления приводом локатора;

- схема формирования широтно-импульсно-модулированного сигнала (ШИМ) – служит для формирования управляющих сигналов для усилителей мощности электродвигателей ведущих колес по данным бортового вычислителя. Схема является 8-ми разрядной, то есть существует возможность задать 255 уровней напряжения питания электродвигателей (от 0 до 24В);

- аналого-цифровой преобразователь (АЦП) сигнала с потенциометра датчика угла поворота передней вилки – 8-ми битный АЦП с интерфейсом к бортовому вычислителю, выдает число в диапазоне 0..255, пропорциональное углу поворота;

- квадратурные счетчики – преобразуют квадратурный код со счетных дисков ведущих колес в число, пропорциональное угловой скорости вращения колес, и передают эти данные в вычислитель;

- интерфейсная часть – отвечает за работу 8-ми битной шины обмена всеми данными от предыдущих блоков к вычислителю;

- блоки питания – импульсные преобразователи напряжений, которые вырабатывают из напряжения аккумуляторных батарей (2x12В) напряжения питания всей электроники робота и его датчиков (+5В, -5В, +12В);

- усилители мощности – импульсные преобразователи напряжений с мостовым выходным каскадом, рассчитанным на ток нагрузки до 2А и напряжение 36В, позволяющие согласно управляющему ШИМ-сигналу формировать напряжение питания электродвигателей ведущих колес с защитой от перегрузки.

Для управления электроникой робота служит ряд тумблеров на задней панели робота, позволяющих включать/выключать ту или иную систему робота (силовую часть, управляющую электронику, видеокамеры и т.д.). Следует отметить, что первоначально на роботе было установлено две черно-белые видеокамеры: первая в передней части робота для выделения на плоскости движения изображения задающей траекторию полосы, вторая устанавливалась на вертикальной штанге для получения позиций ИК-маяков [3]. Однако, особенности схемы обработки получаемых видеоизображений не позволили добиться устойчивого функционирования системы управления роботом при движении по полигону. Для пояснения рассмотрим принципиальную схему обработки черно-белого видеосигнала (рисунок 5), использованной на роботе P1.

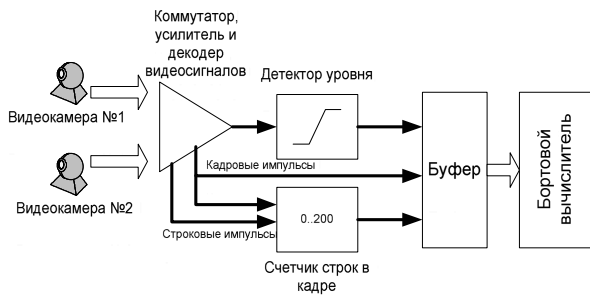


Рис. 5. Принципиальная схема обработки видеосигнала

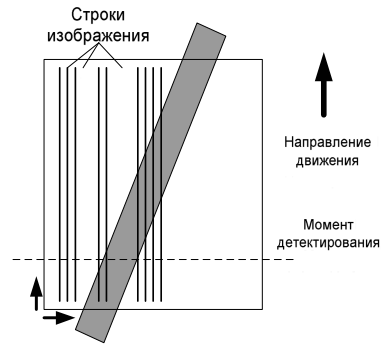


Рис. 6. Считывание информации с камеры

Аналоговые низкочастотные сигналы с видеокамер, содержащие построчно-покадровую временную развертку изображения, поступают в коммутатор сигналов, который в зависимости от сигнала (на схеме не показан) бортового вычислителя передает на вход усилителя один из видеосигналов. Таким образом, вводится первое ограничение – в текущий момент времени можно обрабатывать только один из видеосигналов, что исключает возможность одновременной работы по маякам и полосе. Далее усилитель приводит выбранный видеосигнал к заданному уровню. Усиленный сигнал поступает на вход декодера, который выделяет из сигнала кадровые (один импульс на каждый кадр) и строчные (один импульс на каждую строку изображения) импульсы. Выделенные импульсы поступают на вход счетчика, который подсчитывает номер текущей строки в кадре. Сам видеосигнал подается на детектор уровня, который выдает логическую единицу при достижении соответствующего уровня сигнала или логический ноль в противном случае. Также детектор содержит настраиваемый таймер, который срабатывает в заданный момент времени после начала очередной строки. Как только таймер сработал, текущее значение счетчика строк перезаписывается в буфер и дается сигнал бортовому вычислителю. Последний должен успеть считать это значение до прихода следующего. Одновременно считывается показание детектора («0» или «1»). В итоге в бортовом вычислителе может быть сформирован массив с номерами строк изображения и их текущим «цветом» (черная или белая). Т.е. из двумерного изображения делается одномерная выборка с однобитовой дискретизацией, определяемая моментом срабатывания таймера. Из особенностей схемы необходимо отметить невозможность программной настройки уровня детектирования и времени срабатывания таймера, что является вторым ограничением рассматриваемой схемы.

Покажем, как подобная схема позволяет определять позицию полосы на полигоне относительно робота. На рисунке 6 приведено схематичное изображение полосы в кадре.

Для функционирования описанной схемы видеокамера поворачивается на 90° по отношению к направлению движения робота и устанавливается на роботе так, чтобы «видеть» полосу перед роботом. Направление сканирования камерой в этом случае показано на рисунке 6: по кадру – слева направо, по строкам – снизу вверх. Пунктиром указан «срез», по которому происходит детектирование цвета точки строки.

Его положение в кадре задается вышеописанным таймером. Из рисунка видно, что часть пересечений строк и «среза» попадает на белое, а часть – на черное. Номера всех строк однозначно определяют позицию строк в кадре, а соответственно и реальное положение элементов изображения на плоскости движения. Если теперь в бортовом вычислителе посчитать количество смен цвета строк, т.е. контрастных переходов, то, зная их позиции, несложно вычислить положение полосы на полигоне относительно робота. В простейшем случае это делается путем усреднения позиций всех найденных контрастных переходов.

Аналогичным образом может быть построена работа второй видеокамеры, отслеживающей ИК-маяки. Однако из-за существенно меньшего видимого размера маяка в кадре, чем полосы, требуется точная установка камеры, чтобы изображение маяка могло попасть на линию «среза» [4].

Необходимость описанной схемы обработки видеосигналов возникла из-за низкого быстродействия бортового вычислителя. Действительно, частота следования кадров 50 Гц, в кадре анализируется 200 строк. Как следствие – вычислитель должен считывать данные с частотой 10 кГц. Если же использовать типовую схему обработки видеосигнала, когда анализируется вся строка, а не только ее одна точка как было описано выше, то при разрешении 200 точек на строку, вычислитель должен считывать данные уже с частотой 2 МГц. Это невозможно, так как физически бортовой вычислитель, установленный на рассматриваемом роботе способен выполнять лишь 1600000 элементарных операций в секунду, что составляет считывание с максимальной частотой 25 кГц. Из-за отсутствия аппаратных буферов, куда без участия вычислителя могло бы помещаться изображение с меньшей частотой, чем 50 Гц, требуется обрабатывать каждый кадр. К тому же, не следует забывать, что бортовой вычислитель помимо считывания данных с видеокамер должен еще выполнять и функции управления движением робота.

Невозможность, как уже было сказано выше, программно задавать уровень срабатывания детектора резко сузила допустимый диапазон внешнего освещения. Фактически под каждый конкретный случай приходилось заново настраивать аппаратную часть схемы обработки видеосигнала. В условиях соревнований вообще не получилось произвести настройку, так как слишком сильное освещение создало большой контраст между черным и белым

квадратами полигона, что приводило к работоспособности либо только при черной полосе на белом поле, либо при белой полосе на черном поле. Использование видеокамеры при наблюдении за маяками имело своим минусом ограниченный сектор наблюдения ( $70^\circ$ ), что не позволяло роботу быстро двигаться по полигону и выполнять требуемое упражнение.

На основании этого было принято решение отказаться от использования видеокамер на работе, не выполнять упражнения с движением по полосе, а для движения по маякам перейти к схеме с пассивным ИК-локатором кругового обзора.

Принципиальная схема ИК-локатора показана на рисунке 7. Локатор состоит из корпуса 1, верхняя и нижняя часть которого соединены узкими стойками, в котором размещены все остальные узлы [4]. Корпус локатора крепится на вертикальной штанге на работе, на высоте расположения маяков. Работа локатора происходит следующим образом: ИК-поток излучения маяков падает на зеркало 4, которое вращается с помощью электродвигателя 6. Отраженный вверх ИК-поток попадает на фотоэлемент 3, сигнал с которого усиливается и переводится в цифровой сигнал («0» – нет сигнала, «1» – есть сигнал) усилителем 2.

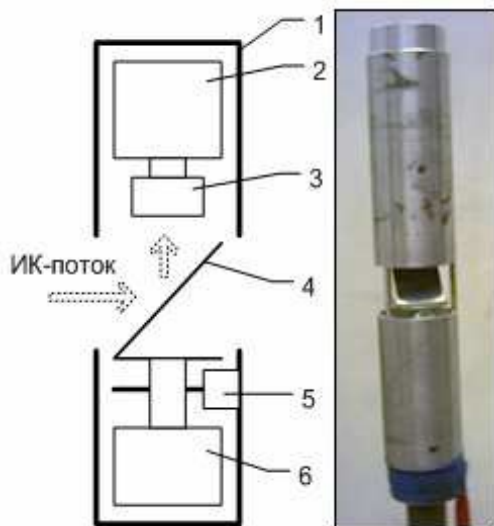


Рис. 7. Принципиальная схема ИК-локатора и его внешний вид

Помимо этого усилитель содержит фильтр, настроенный на частоту 16 кГц, что позволяет «не видеть» чужих сигналов и естественного света. На вал электродвигателя вместе с зеркалом насажен тонкий диск с прорезью, который совместно с ИК-датчиком (оптопара) 5 образует систему, обеспечивающую выдачу одного электрического импульса за оборот зеркала. Так как электродвигатель запитывается постоянным током, а ось вращения зеркала совпадает с одной из главных осей инерции зеркала (отсутствует дисбаланс зеркала при его вращении), можно считать угловую скорость вращения зеркала постоянной. В итоге, в бортовой вычислитель поступает импульс с датчика оборота зеркала, и первый начинает отсчет времени, т.е. запускает «секундомер». Когда с усилителя локатора приходит сигнал наличия

ИК-потока, вычислитель заносит текущее значение «секундомера» в массив и продолжает считать дальше, пока не поступит следующий сигнал с датчика оборота. В этом случае «секундомер» обнуляется и все повторяется. Очевидно, что по такой схеме можно одновременно пеленговать несколько маяков. Так как скорость вращения зеркала постоянна, массив со значениями «секундомера» в моменты фиксации ИК-потока считается массивом угловых координат ИК-маяков.

Угловая скорость вращения зеркала выбирается порядка 25 об/с. При необходимости получения разрешения локатора в  $1^\circ$  (360 отсчетов на оборот зеркала) бортовому вычислителю требуется опрашивать локатор с частотой 9 кГц, что хорошо укладывается в вышеозначенные рамки быстрействия.

В движение робот приводят два электрических микродвигателя постоянного тока ДПР-111, с каждого из которых через понижающий редуктор и ременную передачу осуществляется независимый привод задних ведущих колес. Привод передней поворотной вилки со свободно посаженным колесом производится третьим микродвигателем (ДПМ) через червячный редуктор. Этот двигатель питается постоянным напряжением (0-24В), величину которого надо устанавливать заранее. И, следовательно, скорость поворота передней вилки программно не регулируется.

#### Выводы

В рамках статьи рассмотрена разработка макета для изучения методов автоматизированного управления мобильными устройствами, который будет использован для учебного процесса кафедры КИТАМ Харьковского национального университета радиозлектроники.

Проанализировав аналогичные конструкции, была разработана структурная схема модуля управления.

Разработанное устройство построено на базе микроконтроллера фирмы Microchip PIC16F877 и может выполнять следующие функции: прием команд от управляющего компьютера через интерфейс RS232; управление звуковым сигналом; управление световыми сигналами; управление двигателями механизма перемещения; прием аналоговых сигналов; прием цифровых сигналов; управление цифровыми устройствами.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Батанов А.Ф., Грицынин С.Н., Муркин С.В. Робототехнические комплексы для обеспечения специальных операций // Научно-технический журнал «Специальная техника», № 6. - 1999 (ISSN 1996-0506)
2. Юревич Е.И. Основы робототехники. 2-е издание. Петербург: БХВ, 2005. – 416 с.
3. Сырякин В.И. Информационные устройства и системы в робототехнике и мехатронике: учеб. пособие. (Серия: Интеллектуальные технические системы). – Томск: Изд-во Том. ун-та, 2016. – 524 с.
4. Аль-Еззи А.С. Мобильный робот с двумя ведущими колесами и управлением по инфракрасному маяку // Известия Юго-Западного государственного университета. 3(36), 2011. – с. 13-18