

УДК 681.5

**ЧАСТНЫЙ СЛУЧАЙ ПОДБОРА
АРХИТЕКТУРЫ И ПРИМЕР
РЕАЛИЗАЦИИ СИСТЕМЫ
УПРАВЛЕНИЯ КОЛЕСНОЙ
МОБИЛЬНОЙ ПЛАТФОРМЫ***Лапшин В. П., Коба Я. Д.*

Донской государственный технический
университет, Ростов-на-Дону, Российская
Федерация

i090206.lapshin@yandex.ru4883369@mail.ru

Работа посвящена вопросам анализа современного состояния электронной базы, позволяющей разрабатывать современные мобильные автоматизированные платформы широкого спектра применения. В работе определена структура и состав приборного оснащения мобильной платформы, а также приведен пример реализации для решения конкретного типа задач. Представленная работа будет интересна широкому кругу исследователей и разработчиков, специализирующихся на решении вопросов анализа и синтеза систем управления движением колесных мобильных платформ.

Ключевые слова: мобильная платформа, система управления, электроника, датчики, функциональная схема.

Введение. За последние десятилетия мировая робототехника и технологии, связанные с ней, развиваются стремительными темпами, приобретая все большую возможность использования роботов в различных областях человеческой деятельности. Одним из перспективных направлений является разработка колесных мобильных платформ, предназначенных для решения различных задач. Такие платформы нашли широкое применение в различных сферах: МЧС, Военная сфера, транспортные системы, робототехника.

В качестве примера рассмотрим разработку современной системы управления колесной мобильной платформы на omni-колесах, которую можно применить в качестве малой транспортной системы или лабораторного стенда [1]. Здесь отметим, что вопрос выбора правильной колесной базы мобильного робота на сегодня является достаточно сложной и нетривиальной задачей [2, 3].

Функциональная схема системы управления мобильной платформы. Система управления мобильной платформой, как и любая другая, состоит из объекта управления, которыми являются исполнительные устройства платформы и устройства управления. В качестве объектов управления используются приводы, которые заставляют двигаться колеса мобильной платформы. Устройством управления выступает вычислительное устройство (микропроцессор, микроконтроллер, микрокомпьютер), которое занимается сбором информации с датчиков,

UDC 681.5

**A SPECIAL CASE OF ARCHITECTURE
SELECTION AND AN IMPLEMENTATION
EXAMPLE OF A CONTROL SYSTEM OF
WHEELED MOBILE PLATFORMS***Lapshin V. P., Koba, Ya. D.*

Don State Technical University, Rostov-on-Don,
Russian Federation

i090206.lapshin@yandex.ru4883369@mail.ru

The work is devoted to the analysis of the electronic database current state, which allows you to develop modern mobile automated platforms for a wide range of applications. The paper defines the structure and composition of the mobile platform instrumentation, as well as it provides an example of its implementation for a specific type of tasks. The presented work will be of interest to a wide range of researchers and developers specializing in the analysis and synthesis of motion control systems of wheeled mobile platforms.

Keywords: mobile platform, control system, electronics, sensors, functional scheme.

обработкой этой информации, выработкой управляющего воздействия и подачей этого управляющего воздействия на исполнительные устройства [4].

Мобильная платформа оборудована тремя двигателями постоянного тока.

Устройством, позволяющим осуществлять управление движением мобильной платформы на omni-колесах, является МК (микроконтроллер). Главными преимуществами МК являются возможность реализации логических функций не аппаратно, а программно. Им также характерны: высокая скорость работы, бóльшая гибкость, возможность объединения в сети с другими устройствами и перенастройка по различным каналам связи, меньший расход электроэнергии.

В качестве исполнительных механизмов используются двигатели постоянного тока (ДПТ). Для их управления применяются драйверы двигателей. Для управления драйвером, контроллеру необходимо генерировать ШИМ-сигнал (широтно-импульсную модуляцию) для управления скоростью вращения и два цифровых сигнала — для управления направлением вращения и для разрешения работы драйвера.

Для задания и поддержания скорости вращения двигателя, привод должен иметь обратную связь по скорости. Измерять текущую скорость вращения колеса можно с помощью датчика угловых перемещений — энкодера. Энкодер передаёт в МК импульсы. МК считывает эти импульсы, переводит их в реальные цифры и преобразует в линейную скорость движения колеса.

Для обеспечения точного перемещения в пространстве, мобильная платформа должна иметь на борту датчики, измеряющие собственные координаты платформы.

Для обработки большого количества данных, поступающих с систем навигации, использование микроконтроллера — неправильное решение. Для этого необходимо использовать компьютер с операционной системой и разделить задачи, выполняемые микроконтроллером и компьютером. Контроллер будет управлять нижним уровнем — приводом и движением. Компьютер — заниматься связью с внешним миром, навигацией и принятием решений.

Исходя из вышесказанного, функциональная схема системы управления мобильной платформой имеет следующий вид (рис. 1):

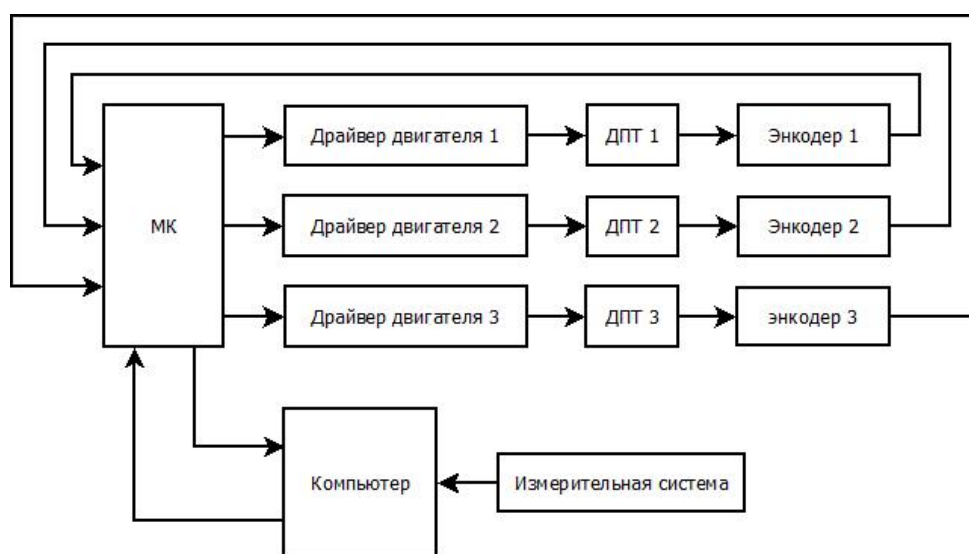


Рис. 1. Функциональная схема системы управления мобильной платформой

Выбор элементной базы. Микроконтроллер. Микроконтроллер — микросхема, предназначенная для управления электронными устройствами. Он сочетает на одном кристалле функции процессора и периферийных устройств, содержит ОЗУ (оперативное запоминающее

устройство) и (или) ПЗУ (постоянное запоминающее устройство). По сути, это однокристальный компьютер, способный выполнять относительно простые задачи.

Микроконтроллеры уже практически полностью заполнили современный мир электроники и все современные системы так или иначе их используют [5].

Рассмотрим популярные микроконтроллеры архитектур PIC AVR и ARM Cortex и выберем наиболее подходящий.

Микроконтроллеры PIC16F676 являются представителями фирмы Microchip Technology. Ядром МК этого семейства является высокопроизводительный RISC-процессор, ассемблер для которого содержит всего 35 инструкций (команд).

ATmega328P — микроконтроллер семейства AVR производства компании Atmel, как и все остальные, имеет 8-битный процессор и позволяет выполнять большинство команд за один такт. Все микроконтроллеры AVR построены по Гарвардской архитектуре, то есть использована раздельная адресация памяти программ и памяти данных.

Рассмотрим микроконтроллер STM32F407VG компании STMicroelectronics. STM32F4 — это серия микроконтроллеров с максимальной в отрасли производительностью среди всех устройств на базе ядра Cortex-M. Максимальная частота процессора — 168 МГц, производительность — до 210 MIPS по тесту Dhrystone и 363 MIPS по тесту CoreMark консорциума EEMBC. Ассортимент микроконтроллеров семейства STM32 насчитывает более 250 совместимых по выводам и программному коду устройств, включая серии F1 и F2, а также сверхмалопотребляющую серию L1.

Таблица 1

Характеристики микроконтроллеров

Параметр	PIC16F676	ATmega328P	STM32F407
Ядро	PIC	AVR	Corte-M4
Частота ядра	20МГц	8МГц	168МГц
Разрядность	8	8	32
Память	1,75 кБFLASH 0,5 кБ RAM 1кБ EEPROM	32 кБ FLASH 2 кБ SRAM 1кБEEPROM	1 МБ FLASH 192 кБ SRAM,
АЦП	10 бит; 8 канала	10 бит; 8 канала	12 бит; 16 каналов 10 бит; 2 каналов
Таймеры	1 таймер 8-разрядный 1 таймер 16-разрядный	2 таймер 8-разрядных 1 таймер 16-разрядный	13 таймеров 32-разрядных
Интерфейсы	USART, SPI, I2C	USART, SPI, I2C	USART, SPI, I2C, CAN, ETH, USB OTG, IrDA
Кол-во портов	12	23	82
Напряжение питания	2–5,5 В	1,8–5,5 В	1,8–3,6 В

В качестве микроконтроллера выберем микроконтроллер STM32F407VG компании STMicroelectronics. Главными преимуществами данного микроконтроллера являются: разрядность 32 бита, большие производительность и количество различной периферии.

Для удобства подключения датчиков, драйверов, а также прошивки и отладки, будем использовать плату STM32F4Discovery.

Одноплатный ПК. Микроконтроллеры могут одновременно исполнять всего одну задачу и отлично с этим справляются. А одноплатные компьютеры исполняют программы в рамках операционной системы, обладают бóльшей производительностью и широкими мультимедийными возможностями. Для обеспечения бóльшей производительности и возможности, необходимо использовать компьютер. Возможно использование одноплатных компьютеров, которые отличаются от обычных размеров и энергопотреблением. С помощью компьютера возможно использование системы технического зрения, лидара и других средств [6].

Рассмотрим две популярные модели одноплатных компьютеров Raspberry Pi 3 и Beagle Bone Black.

RaspberryPi — одноплатный компьютер размером с банковскую карту, изначально разработанный как бюджетная система для обучения информатике, но позже получивший более широкое применение в робототехнике. Разрабатывается Raspberry Pi Foundation.

Beagle Bone Black — это миниатюрный компьютер для электронных проектов, где одновременно нужны высокая производительность, широкие возможности для подключения периферии, связь с сетью и интернетом посредством операционной системы Linux.

Таблица 2

Характеристики одноплатных компьютеров

Параметр	RaspberryPi	BeagleBone
Процессор	64-битный 4х ядерный процессор ARMv8 1,2 ГГц	Sitara AM3358, 1 ГГц ARM Cortex-A8
Память	SDRAM 1 ГБ, LPDDR2, 900 МГц	SDRAM 512 Мб, DDR3L, 800 МГц 4 ГБ eMMC памяти;
GPIO	40 входов/выходов	65 входов/выходов
USB	4 порта	1 порт
Ethernet	10/100, RJ45	10/100, RJ45
Wi-Fi	Интерфейс 802.11n	отсутствует
Bluetooth	Bluetooth 4.1, BLE	отсутствует
ОС	Ubuntu, Debian, Fedora, Arch Linux, Gentoo, RISC OS, Android, Firefox OS, NetBSD, FreeBSD, Slackware, Tiny Core Linux, Windows 10 IOT	Linux, Debian
Напряжение питания	5 В	5 В

В качестве одноплатного компьютера выберем RaspberryPi.

Датчик угловых перемещений. Датчики угловых перемещений или энкодеры занимаются решением важной задачи в области промышленной автоматизации и робототехники — измерением угловых и линейных перемещений, а также измерением скорости и ускорения. Инкрементальные энкодеры преобразуют механическое вращение вала в набор электронных импульсов с помощью которого можно подсчитать количество оборотов, совершенных валом, абсолютные энкодеры позволяют в любой момент времени знать текущий угол поворота оси, в

том числе и после пропадания и восстановления питания [7]. Существует большое количество датчиков угловых перемещений. Рассмотрим пару из них: промышленный энкодер фирмы Autonics и энкодер на базе специализированной микросхемы измерения магнитного поля AS5040.

Инкрементальный энкодер Autonics E50(ENB) является оптическим и реагирует на риски, расположенные на диске. Для использования необходимо соединить вал привода с валом энкодера через гибкую муфту.

Энкодер на базе микросхемы AS5040 является бесконтактным и реагирует на изменения магнитного поля. Для измерения углового перемещения требуется двухполюсный магнит, вращающийся над центром датчика, который можно закрепить на валу двигателя. Он может быть размещен как над, так и под микросхемой.

Таблица 3

Характеристики энкодеров

Параметр	Autonics E50(ENB)	AS5040
Разрешение	5000 им/об	10 bit (1024 им/об)
Макс. частота срабатывания	300 кГц	30 кГц
Напряжение питания	5–36 В	3,3 или 5 В
Макс. потребляемый ток	40 мА	16 мА
Интерфейс	A B Z сигналы	A B Z сигналы

В качестве датчика угловых перемещений выберем датчик на основе микросхемы AS5040 компании AMS. Так как датчик имеет низкую стоимость и является бесконтактным, это упрощает его сопряжение с приводом.

Драйвер управления приводом. Драйвер двигателя — это устройство, предназначенное для преобразования управляющих сигналов малой мощности от микроконтроллера в токи, достаточные для управления моторами. Драйвер двигателя постоянного тока позволяет управлять режимами и скоростью, например, с помощью ШИМ.

При выборе драйвера, помимо всех прочих параметров, он должен обеспечивать характеристики, нужные для корректной работы двигателя (ток, напряжение), но при этом быть компактным и дешевым. Для управления двигателем постоянного тока применяется схема H-мост. Она представляет собой электронную схему, которая позволяет изменить направление вращения путем изменения движения тока через определенный участок схемы. H-мост имеет четыре ключа (выключателя, реле, транзистора, тиристора и т.п.) — S1, S2, S3, S4 (рис. 2). Состояния ключей могут иметь различные комбинации [8].

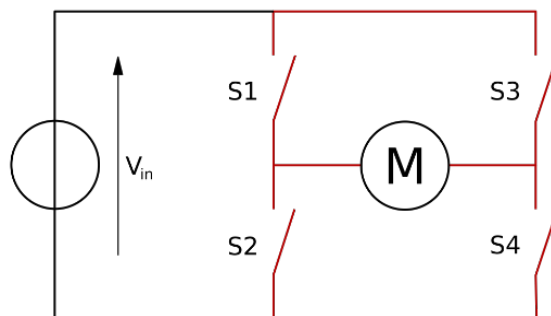


Рис. 2. H-мост

Для реализации драйвера двигателя на основе H-моста будем использовать специализированную микросхему BTN7960 от компании Infineon Technologies. Выбор драйвера, с

точки зрения авторов, крайне важен, так как он и сам двигатель во многом определяют динамические свойства синтезируемой платформы [9].

Микросхема VTN7960 представляет собой полу H-мост и предназначена для управления DC и шаговыми двигателями. Данная микросхема находит очень широкое применение в сфере автоматизации и робототехники. Для достижения полного H-моста необходимо 2 микросхемы. Драйвер на основе этих микросхем способен управлять двигателем с максимальной нагрузкой до 47А.

Таблица 4

Характеристики драйвера двигателя

Частота ШИМ сигнала	До 25 кГц
Максимальное напряжение	45 В
Максимальный ток	47 А
Рабочая температура	-40 °С — +150 °С
Ток покоя	7 мкА
Датчик тока	есть
Температурная защита	есть
Защита по перенапряжению	есть

Измерительная система. Для оценки текущего положения мобильной платформы в пространстве, необходимо оснастить ее средствами навигации. Существуют различные решения и технологии для решения этой задачи. Рассмотрим некоторые из них: измерительная тележка и лидар.

Измерительная тележка — тележка, оснащенная такими же тремя omni-колесами, произвольно вращающимися в подшипниках. На колесах установлены энкодеры, измеряющие текущее перемещение. Измерительная тележка соединена с основной через карданную крестовину, которая позволяет подстраиваться под поверхность. Основным отличием использования данной измерительной тележки от использования энкодеров на колесах является отсутствие проскальзывания. Поэтому измерение текущего перемещения рассчитывается более точно. Преимуществами данного решения являются дешевизна, простота обработки информации, не требуется больших вычислительных мощностей. Недостатками являются сложность сопряжения с мобильной платформой и недостаточная точность.

Лидар — технология получения и обработки информации об удаленных объектах с помощью активных оптических систем, использующих явления отражения света и его рассеяния в прозрачных и полупрозрачных средах. Принцип действия лидара не имеет больших отличий от радара: направленный луч источника излучения отражается от целей, возвращается к источнику и улавливается высокочувствительным приемником (в случае лидара — светочувствительным полупроводниковым прибором). Время отклика прямо пропорционально расстоянию до цели. Кроме импульсного метода измерения дистанции, применяется фазовый, основанный на определении разности фаз посылаемых и принимаемых модулированных сигналов [10].

Рассмотрим лидар HOKUYO URG-04LX-UG01. URG-04LX-UG01 — лазерный датчик для сканирования области. Источником света для датчика является лазер с длиной волны 758 мм. Область сканирования составляет 240 градусов с максимальным радиусом 4000 мм. Угол наклона (pitch) датчика составляет 0,36 градусов, датчик выдает расстояние, измеренное в каждой точке (683 шага). Диаметр лазерного луча составляет менее 20 мм на расстоянии в 2000 мм, с максимальной дивергенцией в 40 мм на расстоянии в 4000 мм.

Преимущества данного датчика являются высокая точность. Помимо расчета положения, возможно нахождение препятствий на пути следования. Недостатками являются высокая цена, сложность обработки информации, необходимость в больших вычислительных мощностях.

Практическая реализация мобильной платформы на omni-колесах. В результате из выбранных элементов была собрана мобильная платформа, общий вид которой представлен на рис. 3.

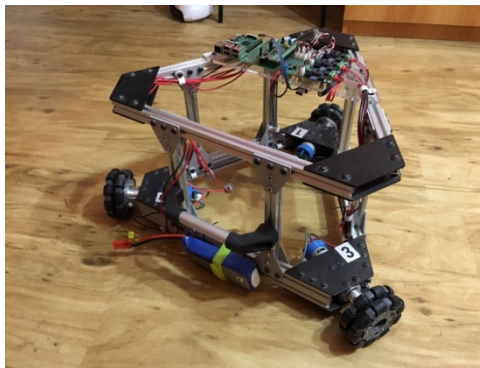


Рис. 3. Общий вид мобильной платформы

Как видно из рис. 3, система управления реализована на базе блока электроники, привода и несущей рамы.

Блок электроники представлен на рис. 4.

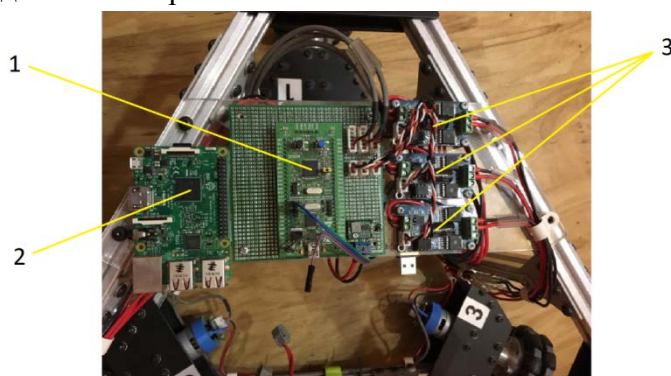


Рис. 4. Блок электроники мобильной платформы

Блок электроники состоит из микроконтроллера (1), одноплатного компьютера (2) и драйверов двигателя (3).

Общий вид привода изображен на рис. 5.

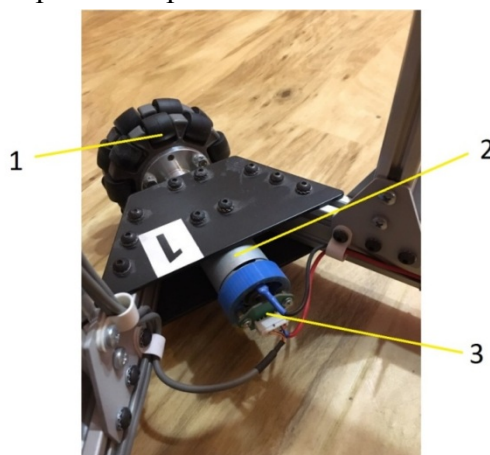


Рис. 5. Привод мобильной платформы

Привод, в свою очередь, состоит из двигателя (2), планетарного редуктора, энкодера (3) и omni-колеса (1).

Заключение. Таким образом, предложенный в работе анализ современного состояния систем и средств управления, реализуемых в мобильной робототехнике, позволил синтезировать (разработать) систему управления для специфичного вида мобильной платформы. Особенностью этой системы является ее высокая маневренность, реализованная за счет применения самых современных элементов, как электронной базы, так и механики платформы.

Библиографический список

1. Лапшин, В. П. Omni-колеса как способ решения проблемы нелинейного взаимодействия колеса и опорной поверхности в малых мобильных платформах / В. П. Лапшин, А. А. Коба, Я. Д. Абалов // Молодой исследователь Дона. — 2018. — №. 4 (13). — С. 82–90.
2. Лапшин, В. П. Модель связи упруго-вязкого смещения поверхности колеса относительно рельса с тяговыми характеристиками / В. П. Лапшин, И. А. Туркин, С. В. Носачёв // Вестник Донского гос. техн. ун-та. — 2012. — №. 5 (66). — С. 40–49.
3. Лапшин, В. П. Модель связи вертикальных деформаций с возникновением циркуляционных сил в системах «Колесо-рельс» / В. П. Лапшин // Вестник Донского гос. техн. ун-та. — 2011. — Т. 11. — №. 8(59), вып.2. — С. 1424–1431.
4. Юревич, Е. И. Управление роботами и робототехническими системами [Электронный ресурс] / Е. И. Юревич // Политех. Электронная библиотека. — Режим доступа : <http://elib.spbstu.ru/dl/326.pdf/download/326.pdf> (дата обращения : 02.04.2019).
5. Новиков, Ю. В. Основы микропроцессорной техники : учебное пособие / Ю. В. Новиков, П. К. Скоробогатов. — 4-е изд., испр. — Москва : Интернет-Университет Информационных Технологий; БИНОМ. Лаборатория знаний, 2009. — 357 с.
6. Кругляк, К. Одноплатные компьютеры для встраиваемых систем / К. Кругляк // Современные технологии автоматизации. — 2003. — №. 4. — С. 6–17.
7. Базанов, П. Датчики положения в современных системах автоматизации в примерах и иллюстрациях / П. Базанов, И. Вербов // Компоненты и технологии. — 2006. — №. 60. — С. 74–77.
8. Шауро, В. А. Электропривод постоянного тока с широтно-импульсным преобразователем и микропроцессорным управлением / В. А. Шауро // Инновационное развитие : ключевые проблемы и решения. — Уфа : РИО МЦИИ ОМЕГА САЙНС. — 2015. — С. 72–74.
9. Лапшин, В. П. Электродвигатель постоянного тока-привод электромобиля / В. П. Лапшин, И. А. Туркин // Автомобильная промышленность. — 2017. — №. 1. — С. 16–18.
10. Wooden D. et al. Autonomous navigation for BigDog // 2010 IEEE International Conference on Robotics and Automation. — IEEE, 2010. — С. 4736-4741.