

РАЗРАБОТКА АВТОНОМНОГО МОБИЛЬНОГО РОБОТА

Аблати С.П., Ефименко А.П., Овиденко Н.А., Пищук М.А., Цаплин А.В.

Руководитель проекта: Медведев Д.С., ст.преподаватель кафедры УИ

Технический консультант: Шрейбер Д.А., техник кафедры УИ

Проект ГПО УИ ИИ-1410 «Изучение 32-х разрядного микропроцессорного ядра ARM Cortex™-M0 с помощью учебной платы Nu LB NUC140»

Аннотация

В статье представлены промежуточные результаты проектирования автономной робототехнической колесной платформы, построенной на базе конструктора Makeblock и учебной платы NU LB NUC140, включающей микропроцессор с ядром ARM Cortex-M0. Рассмотрены следующие вопросы: проектирование алгоритмов верхнего уровня, отвечающих за автономную навигацию робота; разработка отдельных программных микропроцессорных модулей (драйверов) двигателей постоянного тока, ультразвуковых дальномеров и оптических энкодеров; портирование разработанных алгоритмов на язык C; интеграция разработанных модулей в единый программный комплекс с помощью операционной системы реального времени CoOS; разработка печатной платы, предназначенной для сопряжения материнской платы NU LB NUC140 со всеми аппаратными модулями, а также ее изготовление. В процессе разработки использована интегрированная среда разработки CoCoSox, система документирования кода Doxygen и система управления версиями Mercurial.

Ключевые слова: ОДОМЕТРИЯ, ОПТИЧЕСКИЙ ЭНКОДЕР, УЛЬТРАЗВУКОВОЙ ДАЛЬНОМЕР, АВТОНОМНАЯ НАВИГАЦИЯ, ДВИГАТЕЛЬ ПОСТОЯННОГО ТОКА, MAKEBLOCK, ARM CORTEX-M0, УЧЕБНАЯ ПЛАТА, ЯЗЫК ПРОГРАММИРОВАНИЯ СИ, ОПЕРАЦИОННАЯ СИСТЕМА РЕАЛЬНОГО ВРЕМЕНИ COOS.

Введение

Задача автономной навигации в мобильной робототехнике является весьма актуальной и в то же время сложной, особенно это касается не детерминированных или не полностью детерминированных сред. На практике системы автономной навигации могут применяться в условиях, когда доступ человека на определенную территорию ограничен или вовсе невозможен: пещеры, шахты, зараженные территории и др. В таких случаях применяется полуавтоматическое или полностью автоматическое управление мобильным роботом. В качестве мобильных роботов в таких случаях применяются либо наземные платформы (колесные, змеевидные), либо беспилотные летательные аппараты (самолетного типа, многороторные).

Во всем мире для решения подобных задач используется готовая или сделанная под заказ робототехническая платформа, набор оптических, ультразвуковых, инфракрасных, радиочастотных сенсоров и высокопроизводительная вычислительная платформа.

В описываемом проекте в качестве робототехнической платформы используется конструктор Makeblock [1], позволяющий построить колесную платформу различной конфигурации. В данном проекте использовалась платформа с ведущим дифференциальным передним приводом и задним колесом флюгерного типа. В качестве датчиков используются бюджетные ультразвуковые дальномеры HC-SR04 [2] и оптические энкодеры от компании Polulu [3]. Для управления роботом была выбрана учебная плата NU LB NUC140, любезно

предоставленная компанией Nuvoton Technology [4]. Дополнительно использовался драйвер двигателей постоянного тока Arduino Motor Shield.

Для удобства проектирования задача разделена на три логических уровня: алгоритмизация, имплементация и аппаратное обеспечение. Первый уровень включает разработку и тестирование алгоритмов автономной навигации в программном симуляторе Sim.I.am[5]. На уровне имплементации разработаны как отдельные программные драйверы для сенсоров и исполнительных механизмов, так и реализованы разработанные на первом уровне алгоритмы. Третий уровень отвечает за физическую реализацию робота: сборка конструкции, проектирование платы аппаратного сопряжения всех модулей и тестирование робота в реальных условиях. Каждый программный модуль (драйвер) выполнен в виде отдельной задачи, и интегрирован в общую программу с помощью операционной системы CoOS.

Ниже приведено краткое описание задач, выполненных на каждом уровне.

Математическая модель автономной навигации

Для проектируемого робота была поставлена задача автоматического перемещения вдоль стены от начальной до конечной точки. Расстояние до стены должно определяться при помощи ультразвуковых датчиков, текущие координаты – при помощи оптических энкодеров.

Перед началом разработки была построена динамическая модель движения робота в пространстве координат. В приложении А показан фрагмент работы симулятора. Ниже представлен алгоритм прямолинейного движения робота вдоль стены:

Поле, в котором движется робот, описывается в мировой системе координат. На роботе расположены 5 сенсоров, измеряющие текущее расстояние до препятствия.

Шаг 1. Перевод из системы координат сенсора в систему координат робота.

Шаг 2. Перевод из системы координат робота в мировую систему координат.

Шаг 3. Задание условия движения робота.

Шаг 4. Расчёт нормальной и тангенциальной составляющей вектора движения вдоль стены.

По данным датчиков определяется вектор текущего положения робота. Необходимый вектор движения рассчитывается взвешенным суммированием этого вектора с вектором нормали.

Шаг 5. Реализация одометрии.

Одометрия необходима для отслеживания текущего положения робота с помощью оптических энкодеров. На основе дифференциальной модели движения робота и датчиков, рассчитывающих пройденное расстояние каждым колесом рассчитываются координаты робота в мировой системе координат.

Шаг 6. Расчёт составляющих ПИД-регулятора.

ПИД-регулятор необходим для движения вдоль стены, осуществляя регулирование скорости вращения каждого колеса, за счет чего робот придерживается заданного курса.

Значения составляющих ПИД-регулятора устанавливаются экспериментально.

Шаг 7. Определение линейных скоростей колес и вывод функции воздействия на двигатели посредством ШИМ.

Драйвер двигателя постоянного тока

Программный драйвер осуществляет управление ведущими двигателями. Задача драйвера – обеспечивать необходимые воздействия на двигатели в зависимости от заданных скорости и направления вращения. Управление реализовано на базе готового модуля Arduino Motor Shield (см. приложение Б).

Задача разработки драйвера включает следующие подзадачи:

1. Разобраться с принципом подключения аппаратного драйвера (Motor Shield).
2. Разобраться с настройкой ШИМ сигнала на учебной плате.
3. Написать и отладить драйвер управления двигателями.

На устройство подается ШИМ-сигнал, после чего он преобразуется в постоянный уровень напряжения, значение которого зависит от длительности активной части исходного сигнала. В зависимости от значения напряжения двигатель вращается быстрее или медленнее. Таким образом, регулировка скорости осуществляется путем регулировки исходного ШИМ-сигнала. Направление движения задается на цифровом выводе, отвечающем за контроль направления движения (вперед – 1, назад – 0).

Драйвер оптического энкодера

Датчик угла поворота (или энкодер) — устройство, функцией которого является преобразование угла поворота вращающегося объекта в электрические сигналы, позволяющие определить угол его поворота.

Оптический энкодер (см. приложение В) предназначен для металлических микро мотор-редукторов. Он состоит из датчика и 5-зубчатого колеса. Рабочее напряжение составляет 5В.

Частота вращения колеса – величина, значение которой высчитывается энкодером. С энкодера снимается синусоидальный сигнал (см. приложение В), период которого зависит от частоты вращения вала двигателя. Посредством АЦП (аналогово-цифровой преобразователь) аналоговый сигнал преобразуется в последовательность цифровых значений. Каждый максимум сигнала соответствует прохождению крыльчатки возле оптопары. Количество максимумов является количеством так называемых «тиков» за полный оборот колеса, число которых равно 170. Частота преобразований АЦП превышает частоту синусоидального сигнала с энкодера. С помощью порогов отслеживается текущее значение, и если оно однажды превысило максимальный порог, счетчик увеличивается на единицу. С помощью нижнего порога исключено срабатывание счетчика при наличии "шума" синусоидальном сигнале.

Драйвер ультразвукового дальномера

Модуль дальномера осуществляет постоянную связь с подключаемым внешним устройством – ультразвуковым датчиком расстояния HC-SR04 (см. приложение Г). Датчик оснащен излучателем и приемником.

Подзадачи:

1. Разобраться с принципом взаимодействия датчика и контроллера.
2. Написать модуль для пяти дальномеров.
3. Отладить модуль пяти дальномеров.

Излучатель генерирует короткий ультразвуковой импульс (в момент времени 0), который отражается от объекта и возвращается на приемник. Расстояние рассчитывается исходя из времени до получения отраженного импульса и скорости звука в воздухе. Таким образом, приемник получает отраженный импульс, и рассчитывает расстояние, которое кодируется длительностью электрического сигнала на выходе датчика (Echo). Следующий импульс может быть излучён только после исчезновения отраженного импульса от предыдущего. Это время называется периодом цикла (cycleperiod). Рекомендованный период между импульсами должен быть не менее 50 мс. Если на сигнальный вывод (Trig) подаётся импульс длительностью 10 мкс, то ультразвуковой модуль будет излучать восемь пачек

ультразвукового сигнала с частотой 40 кГц и обнаруживать их импульс. Измеренное расстояние до объекта пропорционально ширине отраженного импульса (Echo) и может быть рассчитано по формуле:

$$\text{Ширина импульса (мкс)} / 58 = \text{Расстояние (см)}.$$

В процессе написания модуля дальномеров было опробовано несколько способов связи контроллера и датчика расстояния. Изначально предполагалось реализовать обмен данными с помощью универсального асинхронного приёмопередатчика UART. Но в последующем было решено использовать интерфейс SPI из-за более простой настройки и инициализации. Через интерфейс SPI от контроллера к датчику с некоторой периодичностью поступает импульс длиной 10 микросекунд. В ответ же датчик присылает другой импульс, длина которого зависит от измеренного расстояния.

По приходу импульса на контроллере срабатывает прерывание, по которому запускается таймер, рассчитывающий длительность текущего импульса. Как только сигнал на входе становится равным нулю, таймер останавливается и на основе текущего значения длительности импульса рассчитывается расстояние по формуле, приведенной выше. Аналогично была проведена работа с другими 4 сенсорами и отлажено их взаимодействие. Измеренные расстояния от всех пяти датчиков отображаются на жидкокристаллическом дисплее учебной платы.

Плата сопряжения аппаратных модулей

Переходная плата необходима для минимизации использования навесного монтажа, а также для размещения следующих компонентов робота:

1. Ультразвуковые дальномеры.
2. Аппаратный драйвер двигателей Arduino Motor Shield.
3. Штыревые гнезда и вилки.
4. Аккумуляторные батареи.

Для создания платы использовалась САПР, в которой разработана схема электрическая принципиальная и топология печатной платы (рис.Д.1 и рис.Д.2). Для изготовления платы сопряжения использовался способ термического перенесения рисунка платы с фотобумаги на фольгированный текстолит и последующего травления с помощью хлорного железа. После изготовления платы была произведена сверловка отверстий, лужение контактных площадок и монтаж схемы (рис.Д.3).

Заключение

На данном этапе группового проектного обучения достигнуты следующие результаты:

1. Разработана и протестирована математическая модель автономной навигации робота. Отдельные блоки математической модели перенесены (портированы) на язык Си.
2. Разработаны программные драйверы двигателей постоянного тока, ультразвуковых дальномеров и оптических энкодеров.
3. Все программные драйверы работают в операционной системе реального времени CoOS.
4. Разработана, изготовлена и смонтирована плата с соблюдением основных этапов технологии.

Заключительным шагом проекта является тестирование разработанного робота в реальных условиях, имплементация всей математической модели на учебную плату NU LB NUC140.

Использованные источники

1. Открытая платформа Makeblock [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [//www.makeblock.cc/](http://www.makeblock.cc/) (дата обращения: 18.11.2014).
2. Интернет-магазин Aliexpress.ru [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://ru.aliexpress.com/item/2-НС-SR04/2012998096.html?s=p> (дата обращения: 18.11.2014).
3. Интернет-магазин электроники hobbytronics.co.uk [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [/http://www.hobbytronics.co.uk/optical-encoder-kit-5v](http://www.hobbytronics.co.uk/optical-encoder-kit-5v) (дата обращения: 18.11.2014).
4. Официальный веб-сайт компании Nuvoton Technology [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.nuvoton.com/hq/> (дата обращения: 18.11.2014).
5. Официальный веб-сайт компании Mathworks [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.mathworks.com/matlabcentral/fileexchange/40860-sim-i-am> (дата обращения: 18.11.2014).

Приложение А (обязательное)

Симулятор Sim.I.am

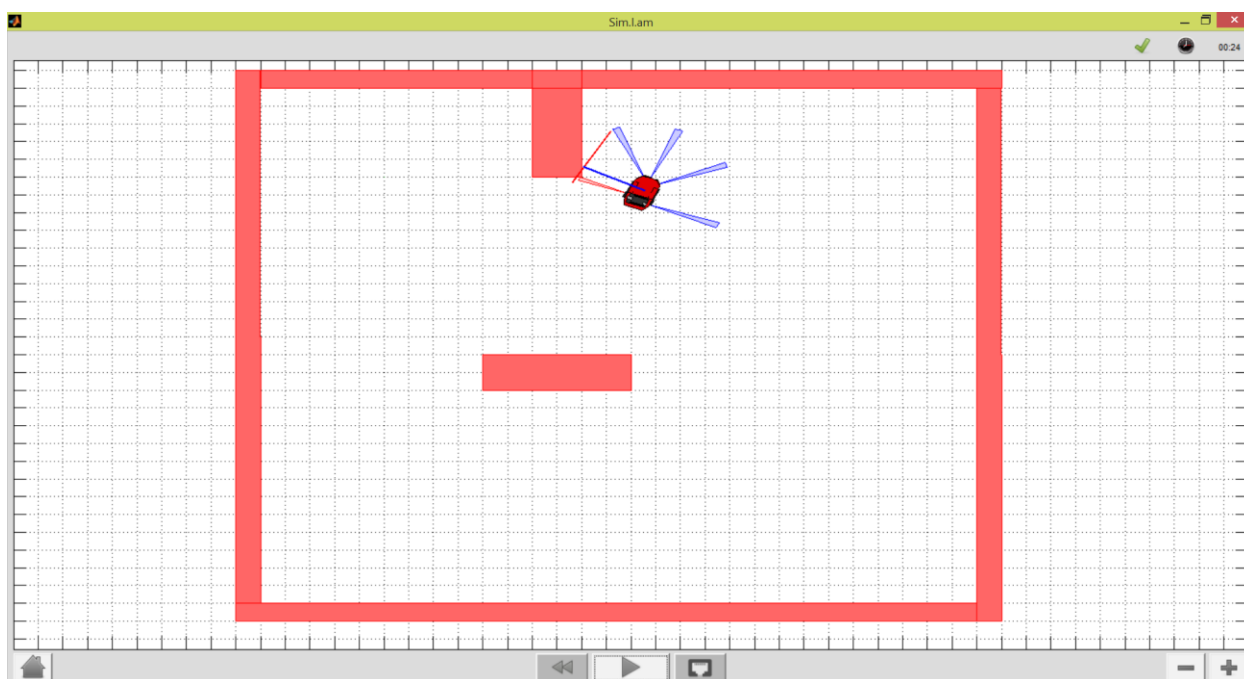


Рисунок А.1 – Движение робота вдоль стены

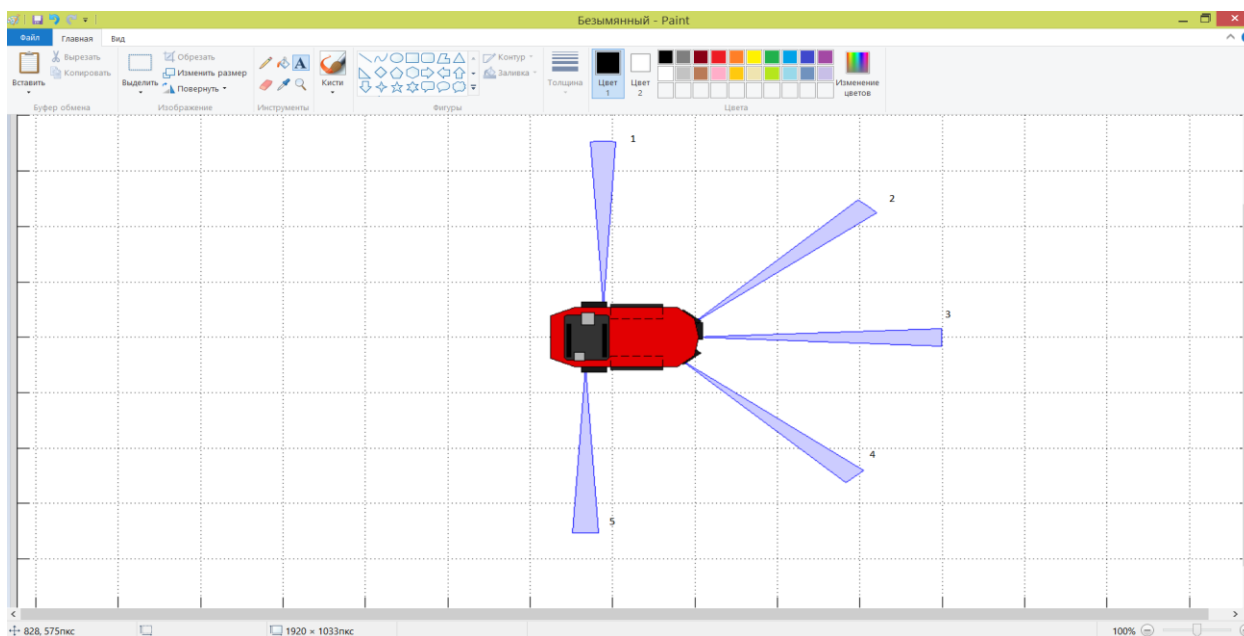


Рисунок А.2 –Расположение сенсоров на роботе

Приложение Б (обязательное)

Аппаратный драйвер двигателей постоянного тока Arduino Motor Shield

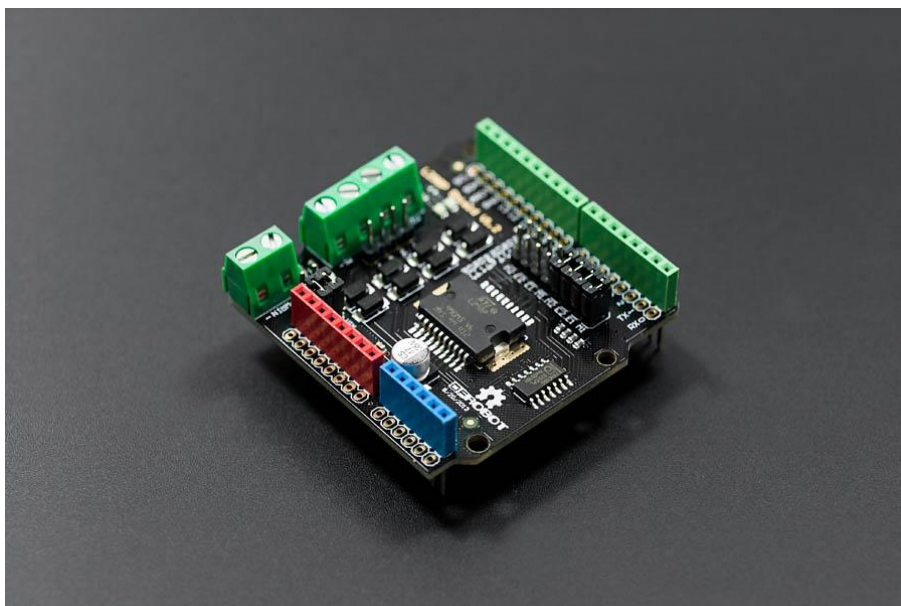


Рисунок Б.1 – Модуль управления двигателями (Motor Shield)

Приложение В (справочное)

Оптический энкодер

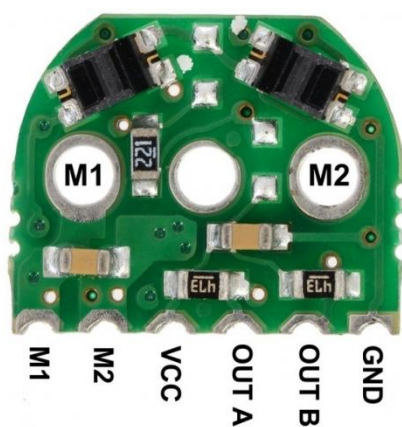


Рисунок В.1 – Оптический энкодер



5V encoder version, motor approx. 30k RPM: 5-tooth wheel at optimal distance from sensors.

Рисунок В.2 – Синусоидальный сигнал на выходе оптического энкодера

Приложение Г (справочное)

Ультразвуковой датчик расстояния



Рисунок Г.1 – Ультразвуковой датчик измерения расстояния

Приложение Д (справочное)

Переходная плата

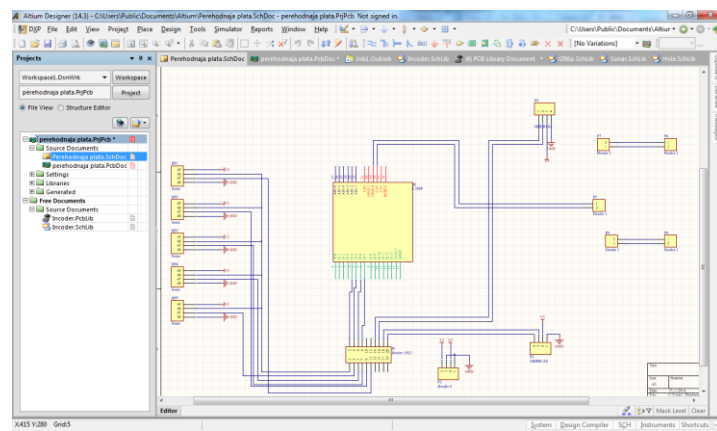


Рисунок Д.1 –Схема электрическая принципиальная

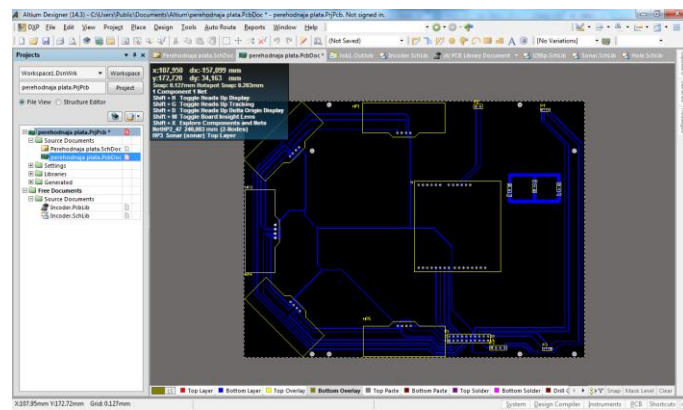


Рисунок Д.2 – Топология печатной платы

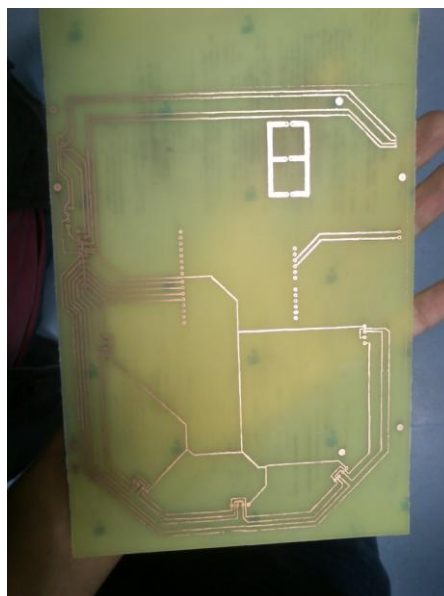


Рисунок Д.3 – Фотография изготовленной печатной платы