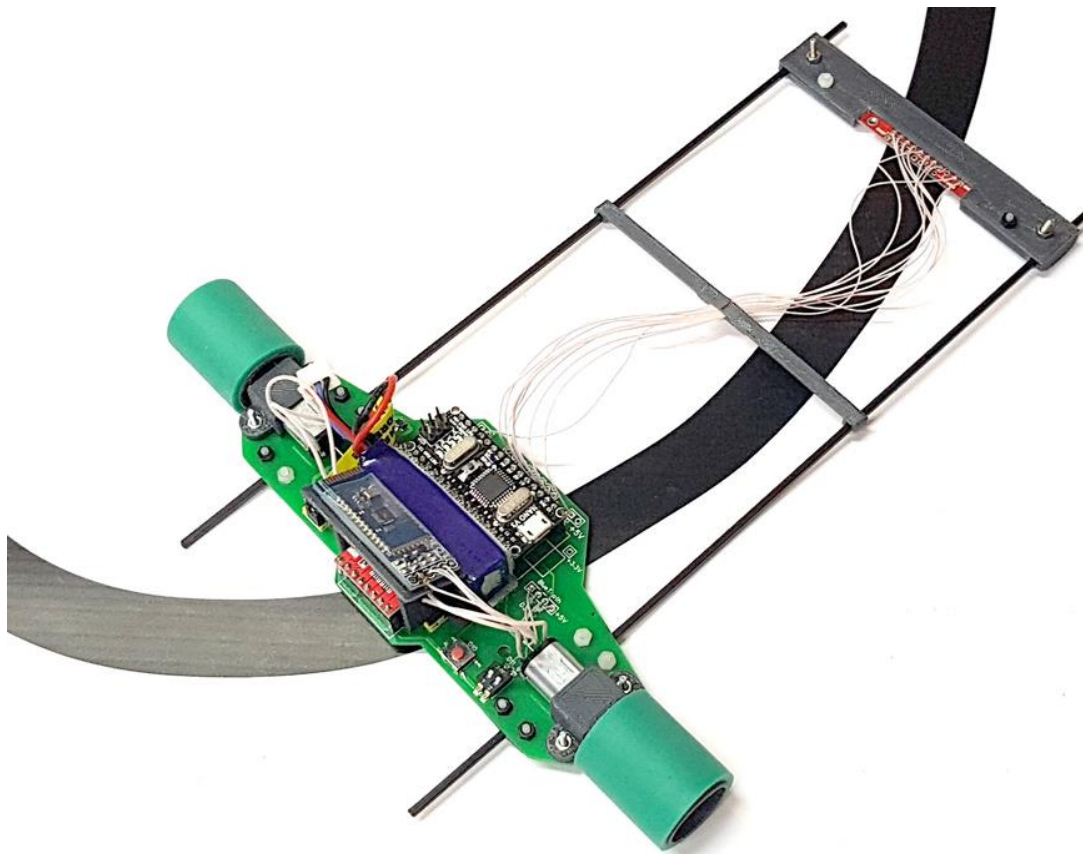


**Ерш Александр, Волошко Игорь**

*Даже путь в тысячу ли  
начинается с первого шага.  
Лао-цзы*



**Робот для следования по линии Simplex-8**  
**Line Follower Robot Simplex-8**

Минск, 2019

## Содержание

### Введение

- Роботы в кино и жизни
- Формула-1 и следование по линии
- Следование по линии как вид соревнований

### Устройство робота

- Базовая информация
- Форма робота
- Главная плата
- Драйвер моторов
- Линейка сенсоров
- Элементы управления
- Питание робота
- Моторы
- Колеса

### Движение робота

- Калибровка сенсоров
- Запуск робота
- Алгоритм движения по линии
- Остановка робота

### Заключение

### Список источников

### Приложение 1. Англо-русский словарь терминов

### Приложение 2. Интернет-магазины

---

## Роботы в кино, на производстве и в жизни

Думаю, вы смотрели много замечательных фильмов, где роботы – одни из главных персонажей. «Терминатор», «Звездные войны», «Искусственный разум», «Двухсотлетний человек», «Я, робот»...

С другой стороны, на всевозможных робототехнических соревнованиях мы видим «примитивные» создания, которые более-менее успешно могут справиться с одной задачей. Робот, построенный для сумо, не может быстро двигаться по линии и наоборот. Возникает явное противоречие.

Что же такое робот? Согласно международным стандартам (ISO) под «роботом» понимается механизм, действия которого запрограммированы в двух и более осях, они выполняются с определенной долей автономности. Робот оперирует в определенной для него среде и решает предназначенные для него задачи.

В этой брошюре мы хотим вас познакомить с одним видом роботов, рассмотрим множество вопросов и проблем, которые возникают при построении робота. Освоив робота для следования по линии, вы сможете лучше представлять устройство подобных роботов, поймете, что ничего сложного в этом нет и почувствуете силы для создания СВОЕЙ модели, приспособленной для решения ВАШЕЙ задачи.

Следование по линии – один из способов ориентации в пространстве. Алгоритмы и навыки, полученные при настройке робота будут полезны не только для подготовки к соревнованиям, но и для решения практических задач, предполагающих движение и ориентацию в пространстве и использование элементов теории автоматического управления.

## Формула-1 и следование по линии

Среди автомобильных гонок «Формула-1» считается королевским видом. Самые высокие бюджеты, самые высокие технологии, скорости... Все самое-самое. Многие технические новшества вначале появляются в Формуле-1, а через какое-то время приходят в серийное автомобилестроение.

Зеркало заднего вида, дисковые тормоза, автоматическая коробка передач стали обычными деталями автомобиля, а когда-то это были «ноу-хау» королевских гонок. Активная подвеска, системы рекуперации тормозной энергии и мотор-генераторы в настоящее время пробивают себе дорогу в серийный автопром.



Следование роботов по линии – аналог гонок «Формула-1» Цель соревнований – проехать от старта до финиша за минимальное время. Естественно, такой робот должен быть мощным, легким, быстрым, управляемым и с правильным балансом веса. Да, этот вид соревнований пока не собирает стадионы, но он позволяет познакомиться с робототехникой без конструкторов и начать развивать в себе настоящего Инженера.

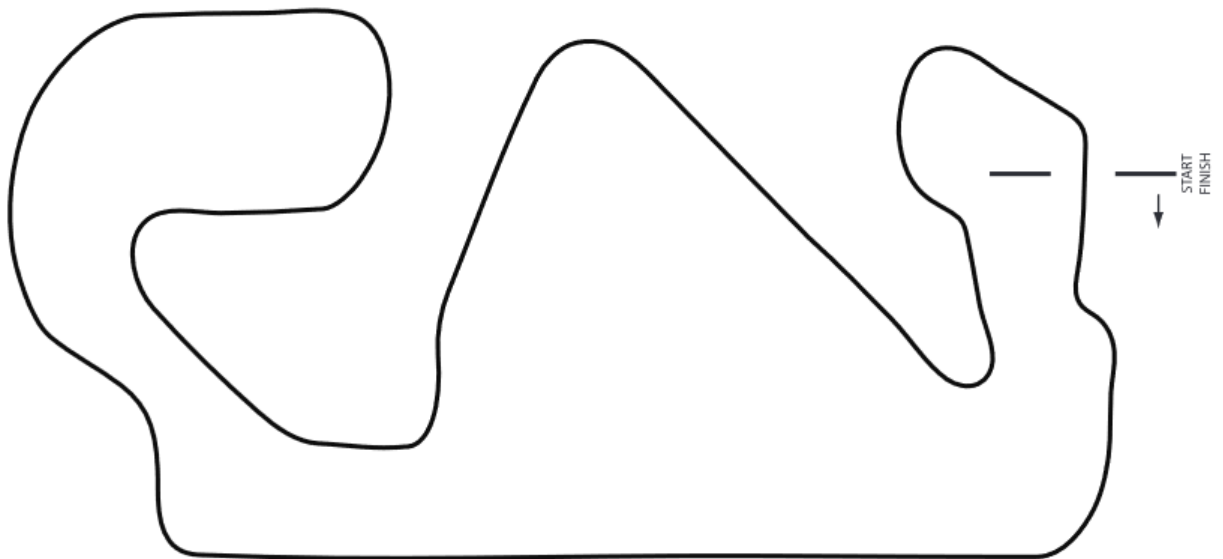
## Следование по линии как вид соревнований

Следование роботов по линии – один из самых популярных видов робототехнических соревнований. Причина этого – в простоте и зрелищности. Действительно, чтобы изготовить робота для гонок по линии, нужно не так много компонентов и все они доступны. Правильно настроенный робот может двигаться по линии с высокой скоростью, принося радость своему создателю и зрителям. Существует множество видов гонок по линии:

- Стандартные (классические) гонки – движение по извилистой линии без самопересечений и разрывов
- Профи – линия может иметь пересечения и разрывы
- Продвинутые (enhanced) – на линии могут находиться препятствия: кирпич и качели
- Драг-рейс – гонки по прямой линии

Также движение по линии является одной из задач в популярных соревнованиях Robo Cup: Rescue Line.

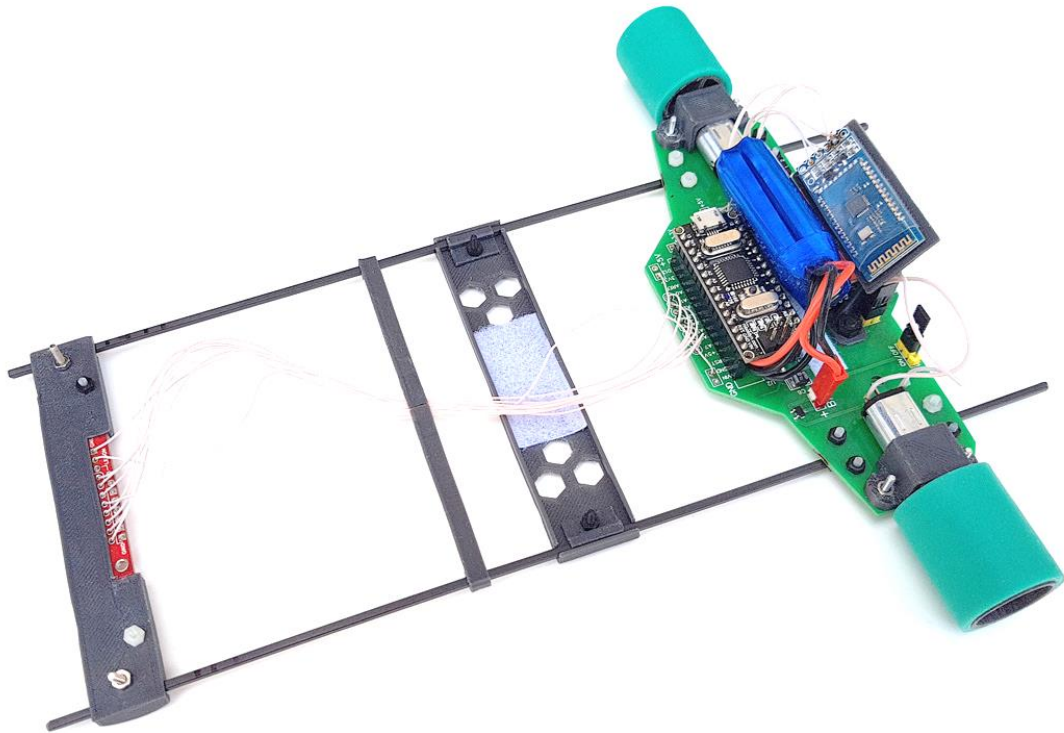
Общей для всех соревнований является задача: двигаясь по линии преодолеть расстояние от старта до финиша за минимальное время.



*Рис. Примерный вид трассы для следования по линии*

## Базовая информация о роботе

Робот, предлагаемый к изучению, сборке и настройке: Simplex-8, простой, легкий и быстрый. Название намекает на простоту, а цифра в названии – на количество подключаемых датчиков.



*Фото. Simplex8 – общий вид*

Робот имеет классическую компоновку: легкая передняя часть значительно выдвинута вперед на легких и прочных углепластиковых прутках.

Часто можно услышать вопрос: «А почему робот имеет такую вытянутую форму?» Почему нельзя его сделать компактным, ведь он станет более маневренным на поворотах? В таком случае можно привести пример с ездой на велосипеде. Когда вы едете, то смотрите вперед на несколько метров дальше переднего колеса, тем самым предсказывая ситуацию. Если смотреть вниз, под переднее колесо, то неизбежно попадете в неприятную ситуацию. Увидите столб или ямку, но не успеете среагировать. Точно также датчики линии, вынесенные вперед, позволяют предсказать ситуацию и успеть выполнить маневр. Однако, длина робота обычно ограничена регламентом соревнований и может составлять не более 25-30см. По этой причине у

мировых лидеров, команды HBFS помимо датчиков линии установлена и видеокамера, что дает возможность заглянуть вперед еще на несколько сантиметров.

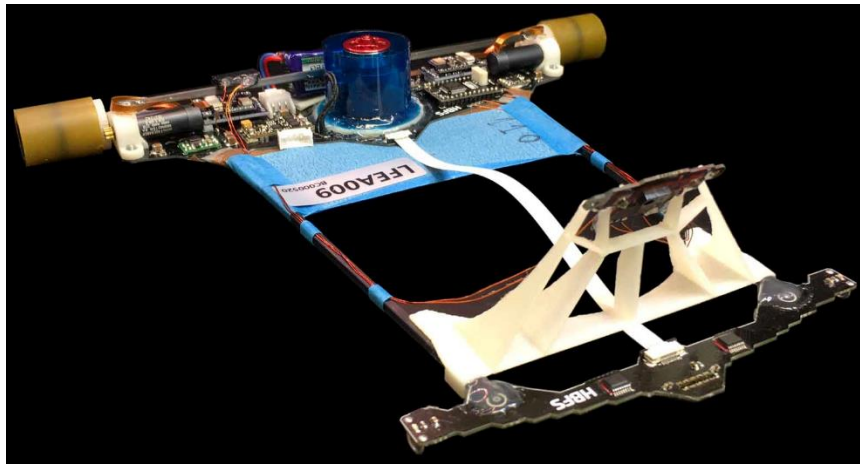


Рис. Робот с видеокамерой от команды HBFS

На этих же направляющих размещается крепление для аккумулятора, которым можно воспользоваться для установки правильного центра масс. Т.к. при достаточно мощных моторах передняя часть может значительно подняться над поверхностью и вызвать ложное срабатывание сенсоров. Отметим, в передней части отсутствуют колеса. Это сделано для облегчения конструкции.

Линейка сенсоров присоединена с помощью провода в тефлоновой изоляции (МГТФ), который нечувствителен к механическим воздействиям и температурным перепадам.

Главная плата, на которой размещены электрические компоненты робота, одновременно является и механической «основой». Это сделано для уменьшения массы и улучшения скоростных характеристик. На главной плате помимо Arduino nano, драйвера моторов и самих моторов размещаются: Стабилизатор напряжения 5В, кнопка старта, переключатель режимов и защита от переплюсовки. Есть возможность подключения Bluetooth модулей с напряжением питания 5В или 3.3В.



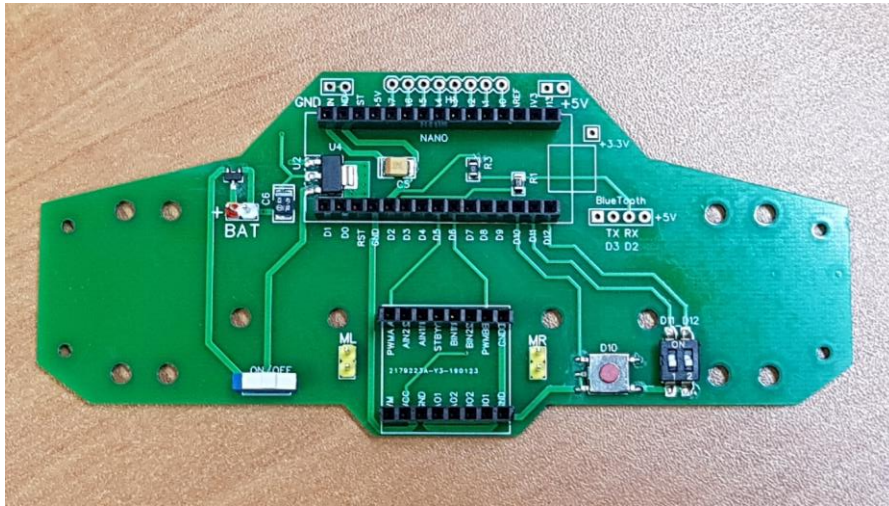


Фото. Главная плата – фото и описание

На роботе установлен модуль Arduino nano из-за его небольших размеров и массы, а также из-за большего количества аналоговых входов, чем у Arduino UNO: 8 против 6.

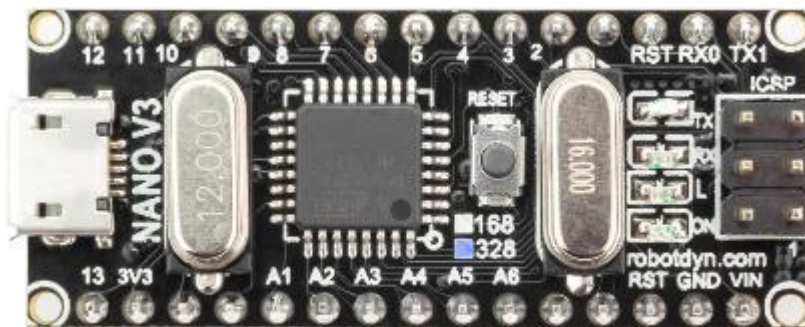


Рис. Модуль Arduino nano от RobotDyn

Габариты робота: 20\*25\*5см. Масса робота с аккумулятором – около 115г.



## Распиновка робота

Мы предполагаем, что Вы знакомы с основами работы с устройствами Arduino и средой Arduino IDE. Если не уверены, то можем порекомендовать следующие книги: [1-3]

Для программирования робота необходимо знать, к каким выводам Arduino nano присоединены внешние устройства. Это называется распиновкой устройства (pinout)

Вывод	Назначение
D2	Передача информации на модуль Bluetooth
D3	Прием информации с модуля Bluetooth
D4	Направление мотора А
D5	Скорость мотора А
D6	Скорость мотора В
D7	Направление мотора А
D8	Направление мотора В
D9	Направление мотора В
D10	Кнопка (0 – нажата)
D11	Переключатель режимов 1 (0-включен)
D12	Переключатель режимов 2 (0-включен)
D13	
A0-A7	Аналоговые датчики линии

В программе это может выглядеть так:

```
const byte RXPIN=2;    //Передача на модуль Bluetooth
const byte TXPIN=3;    //Прием с модуля Bluetooth
const byte AIN1 = 4;   // управление мотором А
const byte AIN2 = 7;   // управление мотором А
const byte PWMA=5;     //скорость мотора А
const byte BIN1 = 8;   // управление мотором В
const byte BIN2 = 9;   // управление мотором В
const byte PWMB=6;     //скорость мотора В
const byte SW1 = 11;   //переключатель 1
const byte SW2 = 12;   //переключатель 1
const byte BUTTON = 10;//кнопка
```

### **Список компонентов робота:**

Главная плата

Контроллер: Arduino nano

Драйвер мотора: Toshiba TB6612

Датчики линии: Pololu QTR-8A (аналоговый)

Направляющие для датчиков линии

Моторы: N20, 6В, 20:1

Колеса: Диаметр 24мм, ширина 30мм

Тактовая кнопка

2-позиционный переключатель режимов

Аккумулятор Li-Po 7.4В, 360мАч

Модуль Bluetooth (опция)

Крепежные элементы

## Драйвер моторов

Микроконтроллер, установленный на Arduino nano, не может напрямую управлять моторами, т.к. не рассчитан на токи выше 40мА на цифровой выход. В качестве «посредника» между микроконтроллером и мотором используется драйвер моторов. Подобное происходит в теле человека: слабые сигналы от мозга управляют мышцами, а мышцы приводят в движение руки и ноги.

В качестве драйвера моторов на Simplex-8 использован двухканальный модуль TB6612, который позволяет управлять двумя моторами типоразмера N20 с пиковым потребляемым током до 3.2А. Рабочее напряжение до 15В. Этот модуль небольшой, легкий, доступный и недорогой.



Рисунок. Драйвер Toshiba TB6612FNG

Для управления одним мотором необходимо использовать три цифровых выхода: два для задания направления вращения и один для управления скоростью.

```
const int AIN1=7;           //AIN1, AIN2 – управляют направлением
const int AIN2=4;           // вращения
const int PWMA=5;           //
digitalWrite(AIN1, LOW);     //задаем направление вращения
digitalWrite(AIN2, HIGH);    //задаем направление вращения
analogWrite(PWMA, 100);     //задаем скорость вращения
```

Поскольку с помощью драйвера мы управляем двумя моторами и второй мотор управляется идентично, мы рекомендуем написать функцию drive(left, right), которая будет управлять вращением моторов. Весь исходный код можно взять на <https://github.com/pinmode-by/Simplex8/>

## Элементы управления

Для управления роботом используются следующие элементы:

- Кнопка – для запуска робота
- 2-позиционный переключатель – для выбора режима работы робота (езда по прямой, калибровка, соревнования)
- Разъем отключения питания – для экстренного и безопасного обесточивания устройства
- Bluetooth – для запуска, остановки, настройки и тестирования. Этот модуль позволяет выполнить практически все функции управления используя смартфон или планшет. Но его непросто запрограммировать, поэтому на первом этапе рекомендуем использовать кнопку и переключатель.

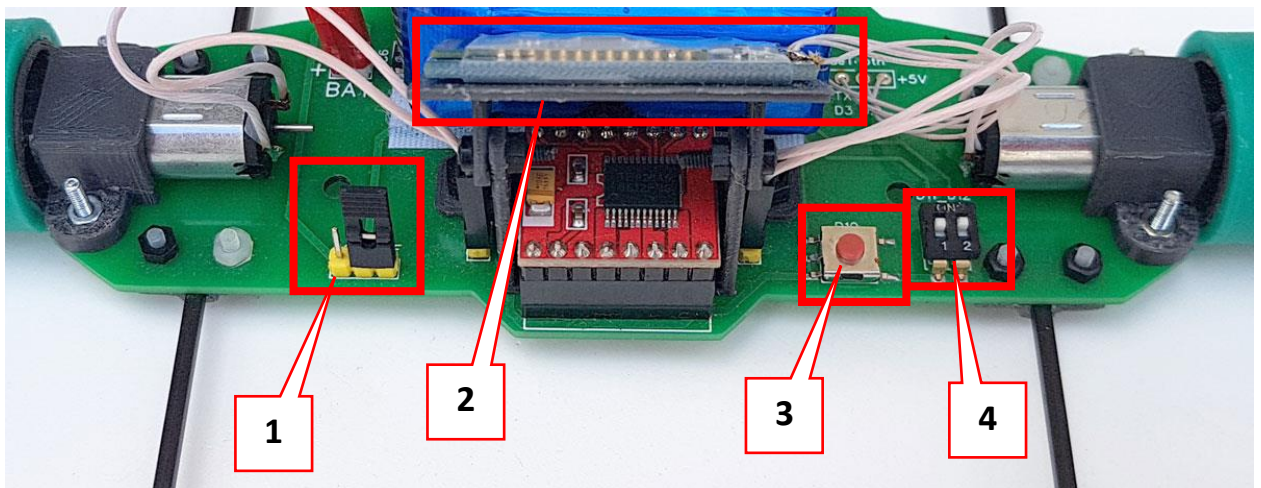


Рисунок. Элементы управления Simplex-8: 1 - отключение питания, 2 - модуль Bluetooth, 3 - кнопка для запуска, 4 - переключатель режимов.

## Особенности взаимодействия Arduino с модулями Bluetooth

Думаю, Вам известно, что Arduino UNO и nano используют 5В логику. Логическая «1» - это 5В, логический «0» - это 0В. На самом деле, микроконтроллер «считает» напряжение выше 2,5В за логическую «1». Все, что ниже, это «0». Модули **Bluetooth** могут иметь логику как 5В, так и 3.3В и это создает проблему. При передаче информации от Bluetooth с логикой 3.3В к Arduino с логикой 5В проблем не возникает

*рисунок*

При передаче информации от Arduino к Bluetooth с логикой 3.3В последний может быть поврежден повышенным напряжением.

*рисунок*

Для решения этой проблемы на плате установлен делитель напряжения, который снижает напряжение с 5В до 3.3В

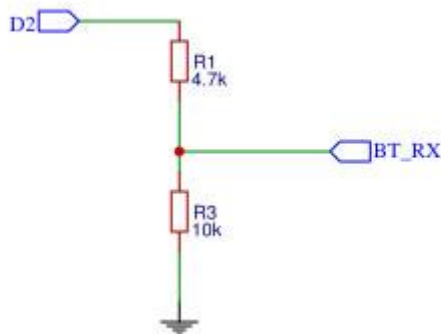


Рисунок. Делитель напряжения для модулей Bluetooth с 3,3В логикой

## Питание робота

В качестве источника питания рекомендуем использовать литий-полимерные (Li-Po 2S) двухэлементные аккумуляторы (Li-Po 2S) с напряжением 7.4В или 3S с напряжением 11.1В в зависимости от используемых моторов. Моторы с рабочим напряжением 6В будут прекрасно работать и с аккумулятором 3S, но недолго.

Li-полимерные аккумуляторы имеют ряд преимуществ:

- Низкий вес
- Широкий выбор размеров и форм
- Высокие максимальные токи.

Недостатки Li-полимерных аккумуляторов:

- Цена
- Пожароопасность
- Опасность перезарядки и переразрядки

Рекомендуем применять аккумуляторы емкостью от 200 до 500мАч, т.к. этого достаточно для нескольких заездов без значительного снижения скорости.

Аккумуляторы малых емкостей обычно оборудованы разъемом JST. Для защиты от неправильного подключения на плате робота размещен модуль защиты, который представляет р-канальный полевой транзистор (MOSFET). Если подключить аккумулятор неправильно, полевой транзистор закроется и не пропустит ток для питания всей остальной электроники.

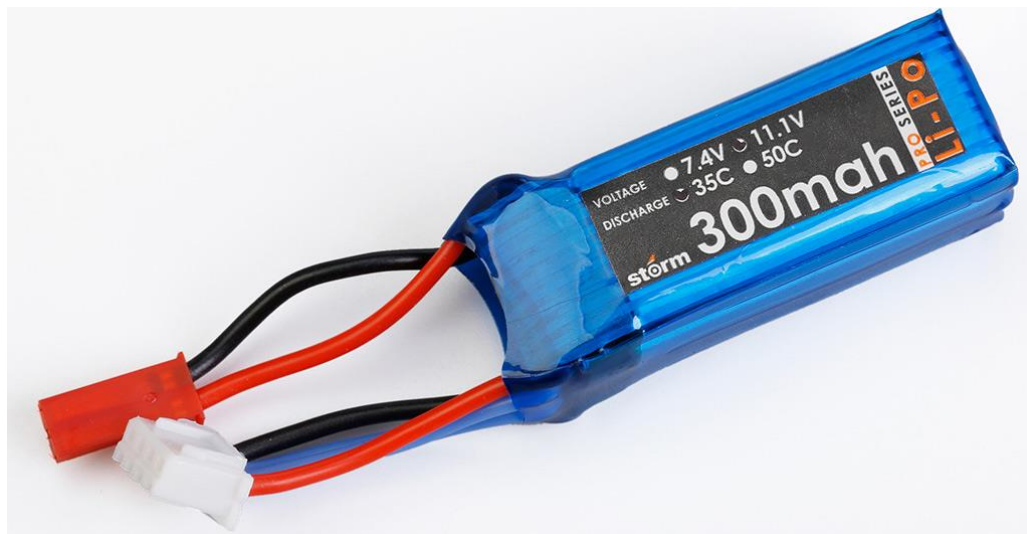


Рисунок. Литий-полимерный аккумулятор.



Для зарядки литий-полимерных аккумуляторов нужны специальные зарядные устройства, обеспечивающие правильную зарядку.



Рисунок. Автоматическое зарядное устройство для Li-Po аккумуляторов



Рисунок. Многофункциональное зарядное с управлением параметрами зарядки

## Датчики линии

Датчики линии – это «глаза» робота. От правильного выбора сенсоров зависит поведение робота.

Сколько сенсоров нужно роботу? Двигаться по линии можно и с одним датчиком, но это будет движение не по линии, а по границе черное-белое. Скорость движения при этом крайне низкая. С увеличением числа датчиков робот более точно «видит» линию, но при этом возрастают затраты времени на обработку информации. Без всяких ухищрений Arduino nano может читать восемь аналоговых датчиков, поэтому мы рекомендуем использовать модуль Pololu QRT-8A, оборудованный 8 аналоговыми сенсорами. Такой модуль специально создан для постройки роботов для гонок по линии. Он компактен, легкий, доступен и недорог. Из недостатков – небольшое рабочее расстояние сенсоров – около 3 мм. Это может стать проблемой, если поверхность для гонок недостаточно ровная и имеет складки. В таком случае необходимо вносить изменения в конструкцию держателя линейки сенсоров.

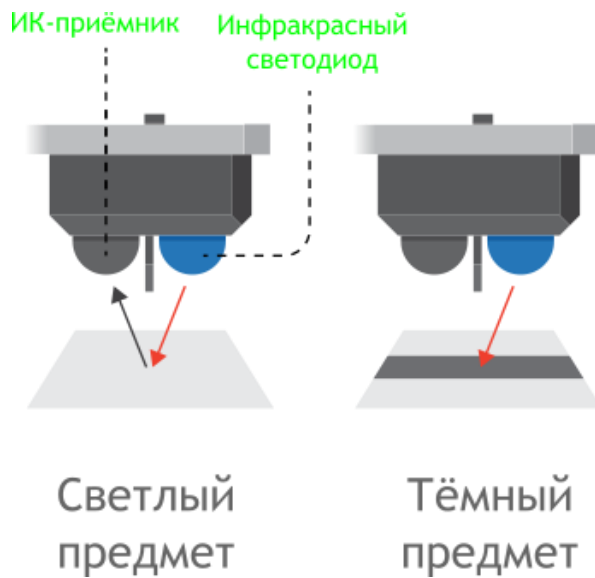
Модуль Pololu QRT-8A построен на оптопарах QRE1113, каждая из которых состоит из ИК-светодиода и фототранзистора. Убедиться в работоспособности датчиков можно с помощью камеры сотового телефона, которая чувствительна к ИК излучению.

*Рисунок*



Фото линейки QRT-8A с включенными ИК-светодиодами

Приемная часть оптопары состоит из фототранзистора и резистора. Чем больше отраженного ИК света попадает на фототранзистор, тем ниже напряжение на выходе.



*Рисунок. Принцип работы оптопары*

Рисунок – схема подключения

Пример кода:

```
int sensors[8]={A0, A1, A2, A3, A4, A5, A6, A7};
int sensor_value[8];
for (int i=0; i<8; i++) {
    sensor_value[i]=analogRead(sensor[i]);
}
```

Вторым вариантом линейки датчиков может быть Zelo-модуль от компания «Амперка», который оборудован восемью датчиками линии на оптопарах TCRT5000. Помимо оптопар, на модуле размещены: микроконтроллер, усилители и полевые транзисторы для управления яркостью светодиодов и чувствительностью фотоприемников. Используемые оптические сенсоры малочувствительны к расстоянию до отражающей поверхности. Их рабочее расстояние от 3 до 15мм.

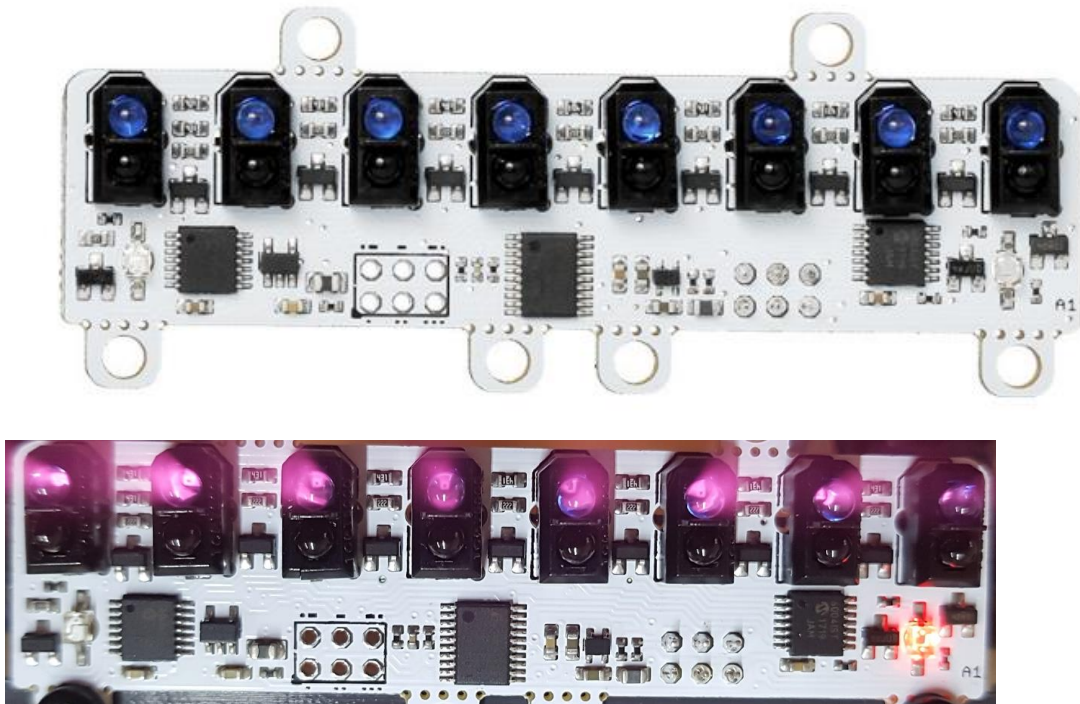


Фото. Модуль Zelo от Амперки

Отличительная особенность модуля Zelo – использования интерфейса I<sup>2</sup>C для подключения к роботу. Это позволяет уменьшить количество соединительных проводов и подключить дополнительные модули.

Третий вариант – линейка из 16 сенсоров от Jsumo.com. Из-за того, что на линейке размещен мультиплексор, она использует только 5 выводов Arduino nano: один в аналоговом режиме и четыре в цифровом.



Рисунок. JSumo XLINE 16