

АВТОМАТИЧЕСКИЙ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНЫЙ КОМПЛЕКС

Авторы: Ковцур Даниил, Ковцур Павел

Руководитель: Нестеров Владимир Викторович.

Санкт-Петербург
2023

Во все времена и у всех народов транспорт играл важную роль. В современном мире его значение выросло многократно. Железнодорожный вид транспорта играет важнейшую роль в жизни современного общества. В настоящее время доминирующим направлением инновационного развития железнодорожных технологий становится реализация концепции «Интеллектуальный поезд», в которой подвижной состав рассматривается как объект в системе управления перевозочным процессом.

Начало развития беспилотных технологий на железной дороге относится к середине 1940-х годов. В середине 1960-х в Сан-Франциско появились первые пригородные электрички, курсирующие на автомате в тестовом режиме. В России аналогичные эксперименты начались в 1957 году.

С 2015 году на станции Лужская в Ленинградской области два беспилотных тепловоза обеспечивают автоматический роспуск составов на сортировочной горке.

В 2019 году в России протестировали первый беспилотный поезд. В 2017 году англо-австралийская компания Rio Tinto успешно завершила испытания автономных грузовых поездов. В 2019 году в американском штате Колорадо успешно провели тестовый запуск тяжелого грузового поезда в беспилотном режиме.

Таким образом, создание и изучение моделей беспилотного железнодорожного транспорта является одной из наиболее актуальных тем настоящего времени [1].

Проблематика: в наши дни железнодорожные перевозки часто используются. При этом важную роль играет безопасность железнодорожного движения. Она достигается, в том числе за счет автоматизации. В данной работе предложена автоматизированная версия железнодорожного переезда, которая позволяет не только опускать шлагбаумы, перекрывая движение, но предупредить машиниста поезда об опасности столкновения с застрявшей на переезде машиной. Существующие решения - полный контроль поезда машинистом и отсутствие автоматизации. Поэтому если машинист вовремя не увидит аварию на переезде, то поезд не успеет остановиться.

Целью нашего проекта является разработка макета железной дороги с безопасным автоматизированным переездом.

В сравнении с существующими решениями [2,3] наш проект имеет защиту от столкновения на переезде, функционал автоматической остановки по меткам, функцию автоматической погрузки и разгрузки, автоматический переключение маршрута в зависимости от цветовых характеристик груза.

В связи с данной целью необходимо решить следующие задачи:

- создание железнодорожного состава и переезда, как два отдельных робота;

- разработка отдельных программ, позволяющих согласовать переезд и состав и выполняющих свои задачи;
- разработка дополнительных элементов макета в виде манипулятора и стрелки;
- тестирование работоспособности проекта и выявление его минусов;
- устранение основных недостатков и финальное тестирование.

Перед началом описания проекта мы опишем роботов, входящих в наш комплекс.

1. Состав.

Самый важный элемент в нашей работе – беспилотный состав. Он состоит из двух вагонов и локомотива. Локомотив – самоходный рельсовый экипаж, предназначенный для тяги несамоходных вагонов. Следовательно, наш электровоз должен иметь двигатель. Им являются две LEGO тележки, купленные отдельно от локомотива. Основой для него является конструктор LEGO BRICK 623. В локомотив вмонтированы светодиоды и датчик яркости отраженного света для определения фольгированных меток на рельсах (фольга имеет большую отражающую способность, чем другие подручные материалы). Второй вагон несет на себе “мозг” робота – контроллер из набора LEGO MINDSTORMS EV3 [4-6]. Он соединен проводами с локомотивом и третьим вагоном.

Разработаны две модификации вагонов – пассажирский и грузовой.

На грузовом вагоне закреплен средний мотор для поворота грузовой платформы.

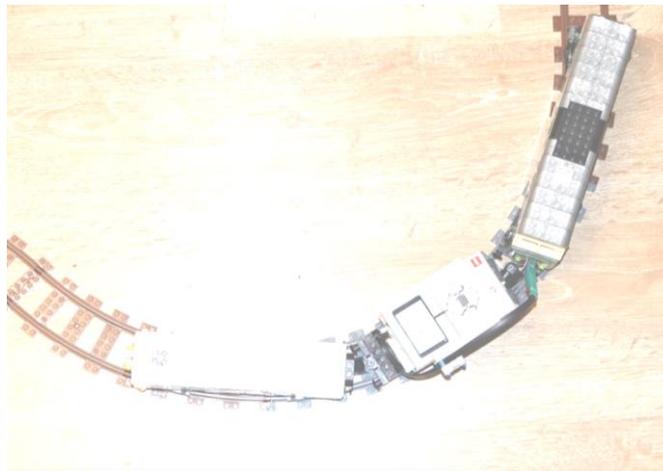


Фото 1. Автоматический железнодорожный комплекс с пассажирским вагоном.

2. Переезд.

Переезд в нашем проекте состоит из арки, под которой проезжает поезд, двух моторов-шлагбаумов и ультразвукового датчика расстояния. Контроллер размещается рядом с сенсором сверху арки. Для корректной работы шлагбаумов в программу внедрена

автоматическая калибровка. Этот робот предназначен не только для контроля переезда. К нему также подключен проводом ещё один большой мотор EV3. Он используется в нашем проекте для переключения железнодорожной стрелки от фирмы LEGO.

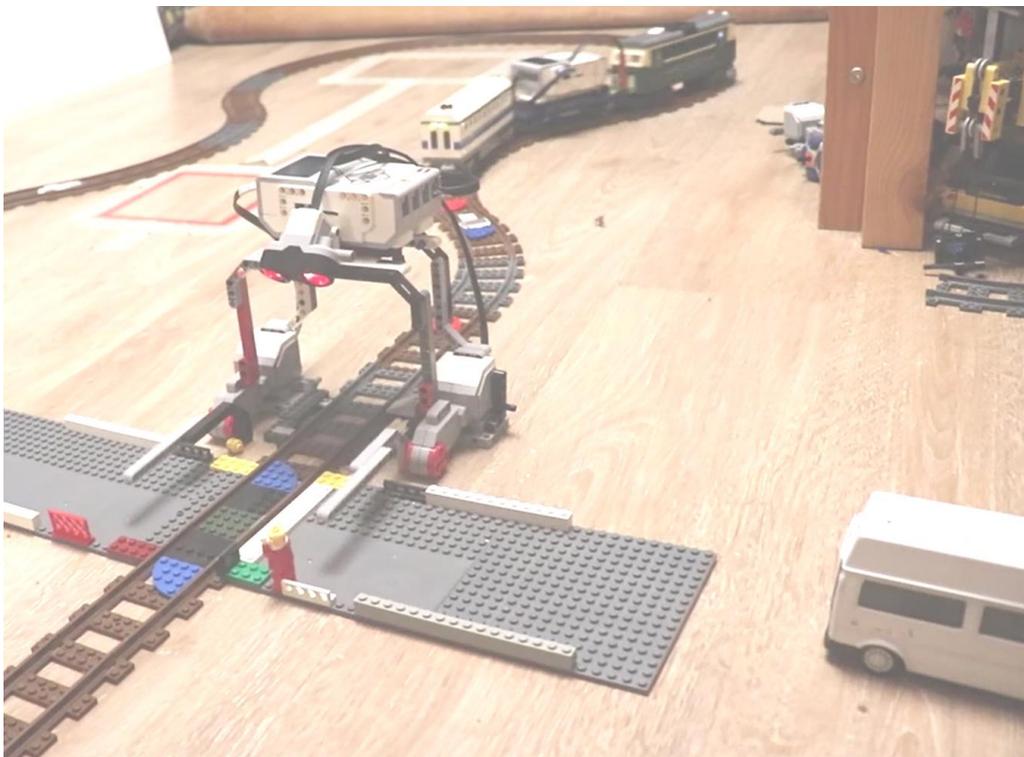


Фото 2. Переезд.

3. Манипулятор

Наш манипулятор состоит из трёх моторов. Благодаря этому он имеет возможность поворачиваться вправо и влево на 90 градусов относительно горизонтали, а также может опускаться вверх - вниз относительно вертикали. Третий мотор управляет захватом робота. Для более точного поворота манипулятора на нем закреплены 2 датчика касания. Для считывания цвета захватываемого объекта используется датчик цвета.

4. Стрелка

Стрелка позволяет изменять маршрут движения поезда для разгрузки на различных станциях в зависимости от цвета груза. Вращение мотора преобразуется в возвратно-поступательное движение с помощью кривошипно-шатунного механизма и вызывает переключение стрелки.

Принцип действия модели

Перейдем к описанию действия модели представляемого проекта.

Модель создана на основе робототехнического конструктора LEGO Mindstorms EV3 и детской железной дороги фирмы LEGO.

Локомотив с вагоном, на котором размещен контроллер, и одним грузовым вагоном движется по железнодорожному полотну до станции загрузки. Остановка поезда происходит при фиксации датчиком освещённости метки, расположенной между рельсов. В то же время при подъезде к станции поезд фиксируется дальномером, после чего запускается манипулятор на погрузку. Манипулятор захватывает груз, который представлен шариком синего или красного цвета. Датчик цвета, расположенный на стреле манипулятора, определяет тип груза (цвет шарика) и по каналу Bluetooth передаёт оцифрованный цвет составу. Далее манипулятор переносит этот груз на вагон, присоединенный к локомотиву. Для большей точности движение стрелы манипулятора и захвата груза происходят, исходя из показаний датчиков касания, закрепленных на стреле и на корпусе манипулятора.

Перед началом движения поезд отключается от манипулятора и подключается к переезду. Контроллер на поезде сообщает переезду по каналу Bluetooth, что необходимо опустить шлагбаумы. В зависимости от типа груза, стрелка (мотор стрелки подчинен переезду) переходит в одно из двух положений. Соответственно, поезд после отправления от станции загрузки едет по одному из двух маршрутов. Затем, благодаря датчику освещенности, поезд снова останавливается на одной из двух станций для разгрузки. Первая станция разгрузки предназначена для грузов первого типа (синих шаров), вторая – для грузов второго типа (красных шаров). Контейнер с шариком автоматически поворачивается, в результате чего шар выгружается. Контейнер возвращается в исходное положение. Затем поезд прерывает беспроводную связь с переездом и подключается к манипулятору. Далее поезд возобновляет движение и отправляется снова на станцию загрузки. На этом первый проход цикла завершается.

Наш роботизированный переезд с помощью датчика дальности определяет, находится ли машина на переезде. Такое условие выполняется, если машина застряла на железнодорожном полотне. В зависимости от этой ситуации переезд сообщает по Bluetooth приближающемуся составу, что во избежание столкновения требуется затормозить. Поезд выполняет это действие и не продолжит движение, прежде чем пути не освободятся.

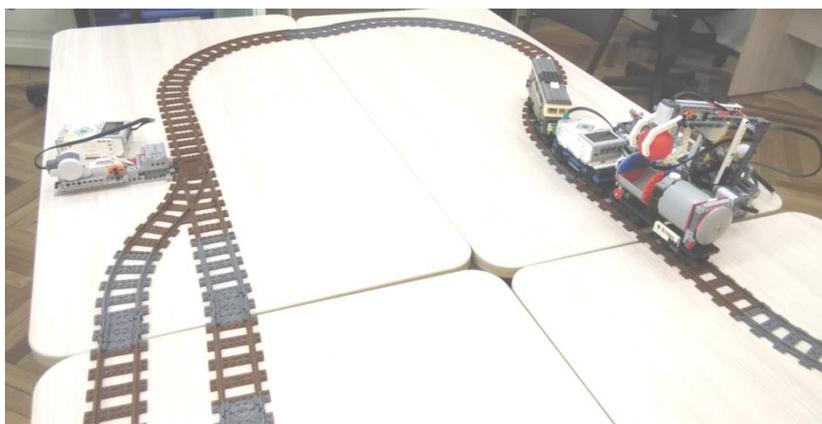


Фото 3. Автоматический железнодорожный комплекс с грузовым вагоном.

Программа написана в среде LEGO MINDSTORMS EV3 Home Edition.

В реальной модели вместо канала Bluetooth, конечно, должна использоваться надёжная защищённая цифровая радиосвязь. Остановка поезда также должна осуществляться по датчикам дальномера, поскольку освещённость железнодорожного полотна может быть различной в зависимости от погодных условий, времени суток и случайных факторов.

Данная модель поезда является беспилотным поездом со степенью автоматизации 2 (ведение машинистом с функцией автоматического режима). Препятствием для большей степени автоматизации является отсутствие автоматического управления при внештатных ситуациях.

Конструкторская и технологическая часть проекта

В пунктах, представленных ниже, мы опишем конструкторскую и технологическую часть проекта.

1) Основная сложность, которая мешала сдвинуть состав с места, заключалась в различии между портом блока EV3 и LEGO-тележкой, которая используется для обеспечения движения состава.

Для этого мы с помощью паяльника создали переходник, позволяющий соединить тележку и блок EV3.

1) Датчик цвета, с помощью которого состав останавливается перед манипулятором и после переезда закреплён внутри локомотива. Он направлен вниз и работает в режиме отражённого света.



Фото 4. Железнодорожный состав в грузовой модификации.

2) Средний мотор, вращающий грузовой контейнер, расположен внутри цилиндрической части вагона. Вагон построен таким образом, что кажется, будто это цистерна.

3) В локомотиве используется две железнодорожные электрические LEGO тележки. Благодаря этому наш поезд имеет достаточные тяговые характеристики.

4) Манипулятор имеет 2 степени свободы и может перемещать грузы на поезд. Датчик цвета зафиксирован на стреле, так чтобы при крепком захвате груза он был направлен на захватываемый объект и корректно определял его цвет.

5) Для точного перемещения стрелы манипулятора на роботе установлены датчики касания. Они обеспечивают точный поворот стрелы на 90 градусов.

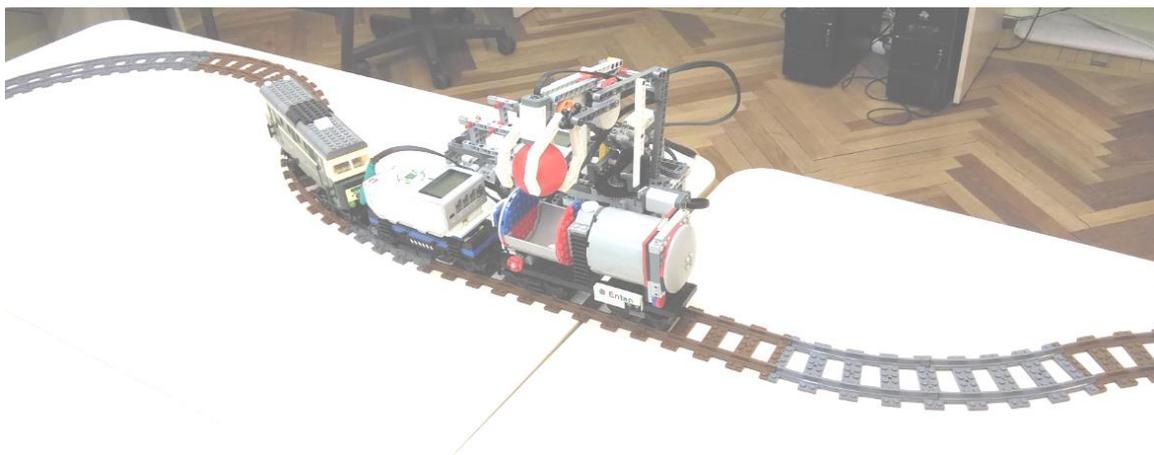


Фото 5. Погрузка.

6) Переезд снабжен ультразвуковым датчиком расстояния, поэтому на его работу не влияют такие факторы, как солнечный свет и освещенность. Он установлен над рельсами

7) Железнодорожная стрелка переводится с помощью мотора и кривошипно-шатунного механизма, который преобразует вращение мотора в возвратно-поступательное движение, тем самым переключая стрелку. Стрелочный мотор подключен к переезду.



Фото 6. Стрелка.

Выводы

Разработан макет железной дороги с безопасным автоматизированным переездом. Беспроводное соединение автоматического переезда и локомотива позволяет остановить состав задолго до приближения к переезду. Эти действия выполняются при аварии на железнодорожном переезде, которая фиксируется датчиком расстояния на нем. Также состав продолжает следование, когда неполадок на пути нет, пока не прибудет на станцию. Таким образом, наша цель достигнута. Дальнейшей задачей является добавление автоматического манипулятора и стрелки, позволяющих наладить автоматическую перевозку грузов на дальние расстояния.

Обратимся теперь к решению сформулированных выше задач.

Создано две модификации железнодорожного состава и переезд, как два отдельных робота.

Разработаны отдельные программы, позволившие согласовать переезд и состав, а также другие элементы комплекса;

Разработаны дополнительные элементы макета в виде манипулятора и стрелки;

Проведено тестирование работоспособности проекта и выявление его минусов, устранение основных недостатков и финальное тестирование.

При этом были выделены следующие особенности:

Плавная и точная по местоположению остановка железнодорожного состава.

В результате действия силы инерции и других случайных факторов изначально остановка локомотива по метке, определяемой датчиком освещенности, имела разброс 1-2 см

от ожидаемого места остановки. Это приводило к тому, что манипулятор не мог поместить груз в вагон поезда. В результате проведенных измерений мы пришли к выводу, что перед станцией надо расположить еще одну метку, после которой поезд начинает снижать скорость. Тогда на второй метке поезд останавливается достаточно точно. Для более плавной остановки лучше сделать несколько меток, обеспечивающих поэтапное снижение скорости.

Плавные и точные движения манипулятора.

Движение манипулятора изначально осуществлялись по датчику энкодера. Тем не менее, накапливающаяся погрешность, проскальзывание зубцов шестерёнок не давали точного перемещения грузов. Поэтому мы разработали алгоритмы, которые дополнительно корректировали движение стрелы манипулятора на основе датчиков касания.

Помехоустойчивое определение цвета груза.

Груз, который мы помещаем на платформу вагона, сортируется в зависимости от его цвета. Цвет определяет датчик освещенности, расположенный на стреле манипулятора. Но в результате различной освещенности окружающей среды и некоторых колебаний освещенности даже в течение короткого интервала времени, датчик света часто ошибочно определял эти изменения за груз. Поэтому мы применили алгоритмы для определения цвета груза, которые были устойчивы к помехам.

Планируемые задачи, решаемые на основе данной модели.

1. Оснастить локомотив техническим зрением на базе контроллера ардуино. Это позволит увеличить степень автоматизации беспилотного поезда до четвертой степени (полная автоматизация).

2. Разработать и создать модель автоматического манипулятора, работающего на основе электромагнита.

Необходимые ресурсы: техническое зрение Ардуино, контроллер ардуино, электромагнит.

В настоящее время холдинг «РЖД» ведет разработку систем беспилотных поездов. В перспективе наши разработки могут представлять интерес для ОАО «Российские железные дороги» и других компаний, занимающихся беспилотным железнодорожным транспортом.

Литература.

1. Полным ходом: железная дорога встает на цифровые рельсы Автоматизация движения поездов пока не видна невооруженным взглядом
<https://iz.ru/854793/khariton-galitskii/polnym-khodom-zheleznaia-doroga-vstает-na-tcifrovye-relsy>
2. Автоматизация LEGO поезда
https://pikabu.ru/story/avtomatizatsiya_lego_poezda_7087045
3. LEGO Mindstorms NXT Automatic Rail Road Crossing 2
<https://www.youtube.com/watch?v=t9xtdopqWGI>
4. Большая книга LEGO MINDSTORMS EV3. 181 / Лоренс Валк ; [пер. с англ. С.В. Черникова]. – Москва : Издательство “э”, 2017. – 408с. : ил – (Подарочные издания. Компьютер).
5. Книга идей LEGO MINDSTORMS EV3. 181 механизм и устройство / Йошихито Исогава ; [пер. с англ. О.В. Обручева]. – Москва : Издательство “э”, 2017. – 232с. : ил – (Подарочные издания. Компьютер).
6. Филиппов С.А. Робототехника для детей и родителей. -СПБ.: Наука, 2011.263с.