Затекин Д.В. Система позиционирования мобильных роботов воспроизводимая в учебных лабораториях цифрового производства // сборник научных трудов. 20-ая Молодежная международная научно-техническая конференция "Наукоемкие технологии и интеллектуальные системы 2018". – М.: изд-во МГТУ им.Н.Э.Баумана, 25 апреля 2018 г. – с.221-231.

СИСТЕМА ПОЗИЦИОНИРОВАНИЯ МОБИЛЬНЫХ РОБОТОВ ВОСПРОИЗВОДИМАЯ В УЧЕБНЫХ ЛАБОРАТОРИЯХ ЦИФРОВОГО ПРОИЗВОДСТВА

Затекин Д.В.
Научный руководитель: Сухоцкий В.А., Юдин А.В.
ГБПОУ «Воробьевы горы», Центр Технического Образования, Москва, Россия
МГТУ им. Н.Э.Баумана, кафедра ИУ4, Москва, Россия

MOBILE ROBOT POSITIONING SYSTEM TO REPRODUCE IN EDUCATIONAL DIGITAL FABRICATION LABORATORIES

Zatekin D.V.
Supervisor: Sukhotskiy V.A., Yudin A.V.
State budget vocational and educational institution ”Vorobyovi Gori”, Moscow, Russia
Bauman Moscow State Technical University, IU4 department, Moscow, Russia

Аннотация
Проект посвящен разработке системы позиционирования мобильных роботов на основе замера времени прохождения ультразвуковых волн от активных маяков до робота. Система служит элементом навигации мобильных роботов в ограниченном пространстве и может быть использована на робототехнических соревнованиях, для роботов удаленного присутствия, роботов помощников и т.п. Основные требования при проектировании – безопасность, невысокая стоимость, возможность тиражирования в условиях учебных лабораторий. Система апробирована в реальных условиях робототехнических соревнований EUROBOT и детских массовых мероприятий в московском Дворце пионеров на «Воробьевых горах».

Abstract
The project is dedicated to the development of the system that determines position of mobile robots by measuring time that ultrasonic waves take to travel from active beacons to the robot. Such system is a navigational element of mobile robots in a limited space in circumstances of robotics competitions, for robots that are distantly controlled, robot assistants etc. Main features required are safety, low cost, and ability to be reproduced in educational workshops. The system was tested in Eurobot mobile robots competitions and mass youth events in state budget vocational and educational institution ”Vorobyovi Gori”.

Введение

Существует множество методов определения координат мобильных роботов (МР). Данный проект разрабатывается для позиционирования роботов, разрабатываемых школьниками и студентами в учебных лабораториях. Поэтому одно из важнейших условий- это недопустимость отрицательных воздействий на здоровье участников. В связи с этим метод на основе лазерного излучения не рассматривался изначально. Второе условие, это невысокая стоимость компонентов и возможность тиражирования в условиях учебных лабораторий. Учитывая опыт участия во всевозможных робототехнических мероприятиях, в проект были включены методы на основе ультразвуковых (УЗ) и инфракрасных (ИК) датчиков, которые не дороги и наиболее популярны среди начинающих разработчиков робототехнических устройств.

В литературе немного статей с примерами определения координат МР по ИК и УЗ датчикам. В интернете были найдены несколько статей по позиционированию с помощью активных маяков, в которых показана возможность определения координат робота методами триангуляции и трилатерации.

1. Система позиционирования МР по методу трилатерации

Для проекта была выбрана система позиционирования с помощью стационарных маяков, которая не очень удобна при монтаже оборудования, но дает не плохие результаты при определении координат и помехоустойчива при отражении УЗ от подвижных и неподвижных объектов.

Схема управления маяками представлена на рис.1. Маяки включают в себя радиоприемник и ультразвуковой (УЗ) излучатель. На роботе установлен центральный узел управления. Робот активирует радиосигналом УЗ передатчик на маяке, фиксирует время прохождения УЗ сигнала, и определяет расстояние до маяка

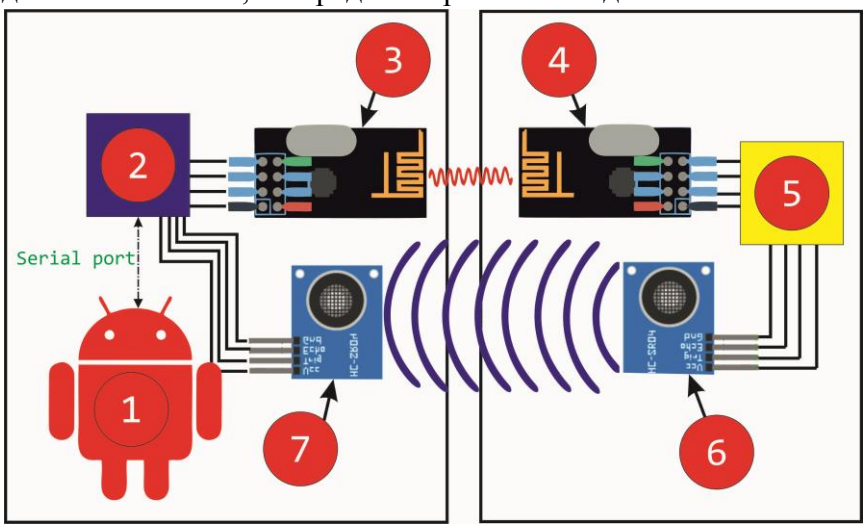


Рис. 1 – Определение положения МР по методу трилатерации. 1 - мобильный робот; 2 - центральный узел; 3 – радиопередатчик; 4 – радиоприемник; 5 – электронный модуль маяка; 6 – УЗ излучатель; 7 - УЗ приемник.

Для определения координат используется метод трилатерации. Для работы системы устанавливаются не менее трех стационарных активных маяков в рабочем пространстве МР. Координаты маяков вносятся в программу расчета координат МР. Робот рассчитывает расстояние до каждого из маяков и определяет свои координаты.

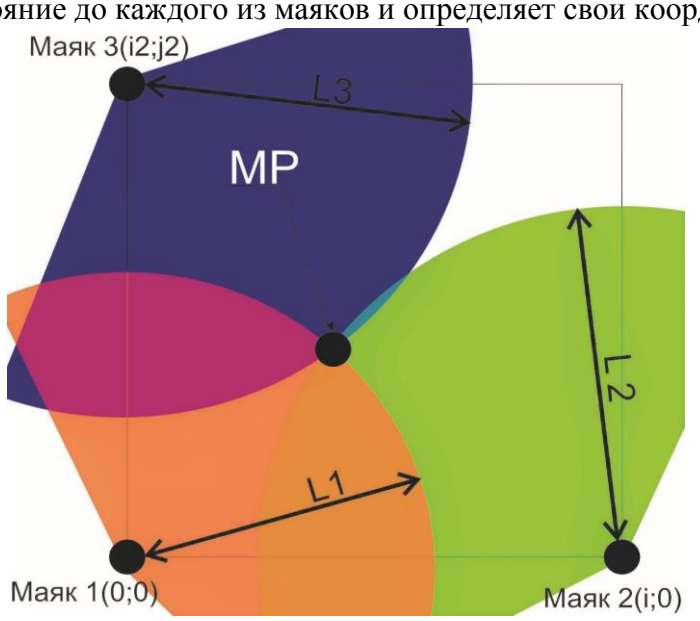


Рис. 2 – Определение координат по трем маякам

На рис.2 приведена схема расположения маяков и МР в относительной системе координат. За нулевую точку отсчета принят первый маяк [Маяк 1(0;0)], маяк 2 смещен на i мм [Маяк 2(i;0)], маяк 3 смещен на i2 мм по оси x и на j2 по оси y [Маяк 3(i2;j2)].

Величина погрешности при замере расстояния до робота в соответствии с техническими характеристиками УЗ датчика может составлять ±3мм. По результатам замеров от трех маяком можно рассчитать зону в которой находится робот.

1.1. Математические расчеты

Для вычисления координат МР, запишем систему, состоящую из уравнений трех уравнений:

$$\begin{cases} L1 = x^2 + y^2 + z^2 \\ L2 = (x - i)^2 + y^2 + z^2 \\ L3 = (x - i_2)^2 + (y - j_2)^2 + z^2 \end{cases} \quad (1)$$

где L1, L2, L3 – расстояния от МР до маяков 1, 2 и 3 соответственно; x, y, z-координаты робота; i - смещения маяка 2 по оси x; i2, j2 - смещение по маяка 3 по оси x, y соответственно.

Выразим три неизвестных координаты:

$$\begin{cases} x = \frac{l_1^2 - l_2^2 + i^2}{2*i} \\ y = \frac{l_1^2 - l_3^2 - 2*x*i_2 + i_2^2 + j_2^2}{2*j_2} \\ z = \pm\sqrt{l_1^2 - x^2 - y^2} \end{cases} (2)$$

В результате вычисления становятся известны относительные координаты МР. Для получения расстояния от маяка до МР, маяк излучает УЗ сигнал длиной не менее 13 мкс. При расчете также необходимо учитывать молекулярно-температурные свойства газа.

Расстояние высчитывается по следующей формуле:

$$\begin{cases} s = v * \delta + r_{\text{м}} + r_{\text{пр}} \\ v = \sqrt{x * R * T} \end{cases} = s = \sqrt{x * R * T} * \delta + r_{\text{м}} + r_{\text{пр}} (3)$$

где s-расстояние от маяка до МР; ν-скорость звука; δ-время пролета УЗ сигнала между излучателем и приемником; x-показатель адиабаты; R- газовая постоянная; T-температура газа(воздуха); $r_{\text{м}}$-расстояние от УЗ излучателя до центра маяка; $r_{\text{пр}}$ – расстояние от УЗ приемника до центра МР. В этой формуле учитывается температура воздуха, поэтому в центральном узле используется цифровой датчик температуры (ds1820). Учет температуры в формуле расчета расстояния позволяет увеличить точность системы.

1.2 Программа.

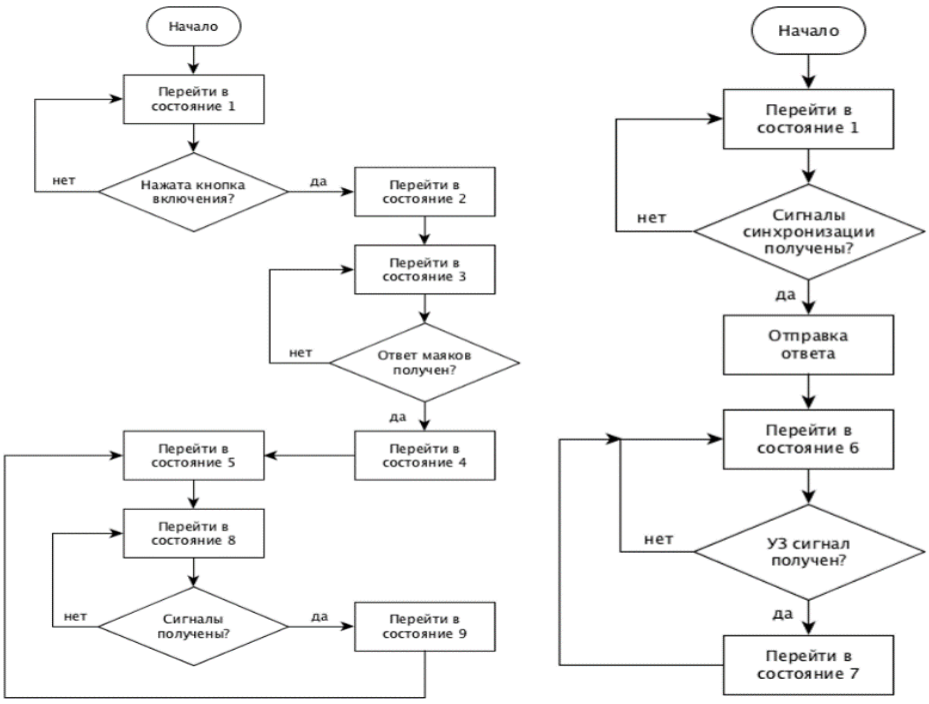
Запись формул на языке программирования СИ:

```
x= (sq (duration1)-sq (duration2) +sq (itwo))/ (2*itwo);

y= (sq (duration1)-sq (duration3)-2*x*itri+ sq (itri) +sq (j))/ (2*j);

z=-sqrt (sq (duration1)-sq(x)-sq(y));

s=sqrt(x*R*T)*t+dr1+dr2;
```

Состояния системы:

- состояние 1 – ожидание включения
- состояние 2 – проверка конфигурации системы

- состояние 3 – синхронизация маяков
- состояние 4 – отправка сигнала МР о готовности системы
- состояние 5 – ожидание о запросе координат
- состояние 6 – ожидание запроса на УЗ сигнал
- состояние 8 – поочерёдное опрашивание маяков
- состояние 7 – излучение УЗ сигнала



- состояние 9 – отправка координат МР

Рис. 3 – Алгоритм работы программы

На рис. 3 представлен алгоритм работы узлов системы: слева – последовательность действий приемника, справа – последовательность действий маяка.

2. Практическая часть

На рис. 4 представлен тестовый вариант проекта, на котором была проверена работоспособность системы, собранной из доступных компонентов.

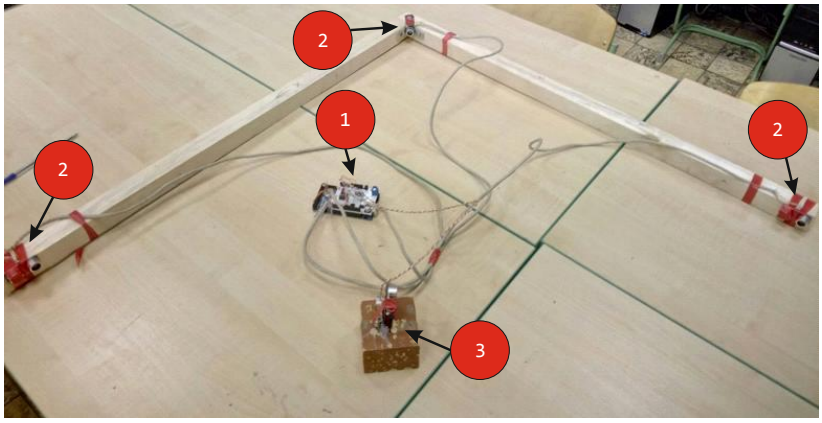


Рис. 4 – Тестовый вариант: 1- модуль Arduino Mega; 2- УЗ передатчики; 3- УЗ приемник

Модуль Arduino Mega поочередно активировал УЗ передатчик маяка, принимал полученный сигнал на УЗ приемник и определял расстояние. Расчетные координаты отличались от реальных примерно на 15 см, что давало погрешность порядка 12%. Тем не менее была подтверждена работоспособность системы и это дало возможность определить дальнейшие направления для усовершенствований.

3. Разработка и отладка системы позиционирования

3.1. Компоненты системы позиционирования

Для разработки и изготовления компонентов системы позиционирования были подобраны следующие элементы.

Центральный узел. Центральный узел находится в МР и включает в себя:
- модуль радиопередатчика nrf24l01 частотой 2.4 ГГц для обеспечения связи с маяками;
- модуль УЗ приемника hc-sr04;
- модуль Arduino Uno;
- цифровой датчик температуры ds1820;

Стационарный маяк. Стационарный маяк состоит из следующих элементов:
- модуль радиоприемника nrf24l01 частотой 2.4 ГГц для обеспечения связи с центральным узлом;
- модуль УЗ передатчика hc-sr04
- управляющей платы модуль Arduino Pro Micro;
- линейный dc-dc преобразовать NCP1117ST50T3G (5v) для питания всего узла;
- линейный dc-dc преобразовать LP2985-33DBVR(3.3v) для питания радиопередатчика nrf24l01;
- аккумулятор 9v.

3.2. Разработка элементов и тестирование системы позиционирования

В ходе работы были смоделированы варианты элементов конструкции приемника (центрального узла) и маяка, запрограммирована система управления с использованием микроконтроллеров. Детали конструкции и печатные платы для электронных модулей, были изготовлены на станках с ЧПУ.

Второй тест системы был проведен на полигоне для робототехнических соревнований.

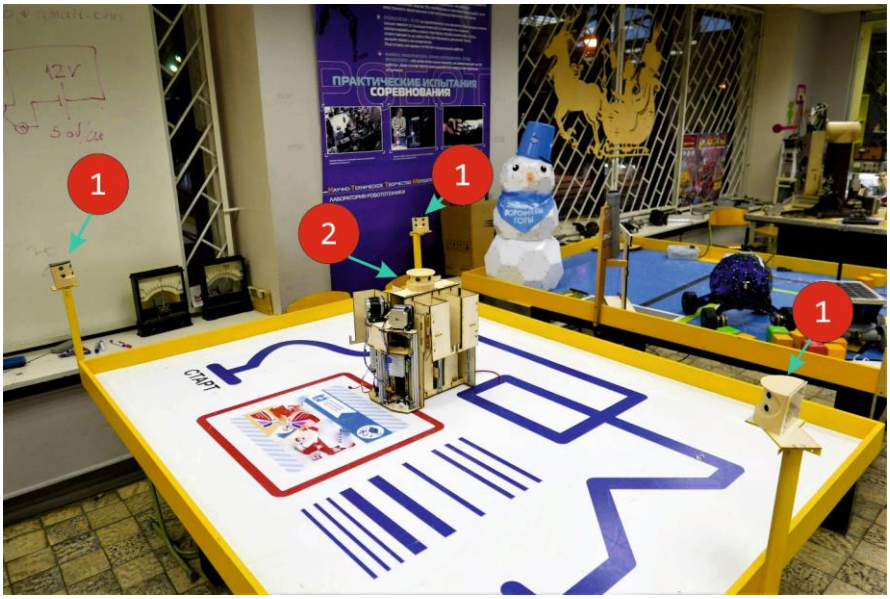
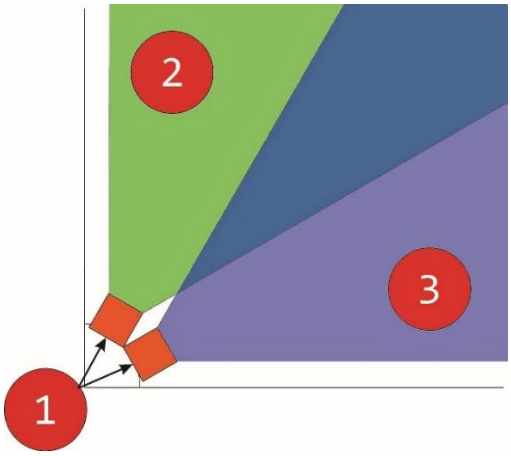


Рис. 5 – Полигон: 1 - маяк; 2 - мобильный робот.

На рисунке 5 показано расположение маяков и робота. Три маяка были закреплены над полигоном. Два из них по углам и третий на середине противоположной стороны.

УЗ излучатель, установленный на маяке, имеет эффективный угол покрытия в 60 градусов (рис. 6). Чтобы расширить зону работы, были вмонтированы в каждый маяк по 2 излучателя (рис. 7).



. Рис. 6 – Зона покрытия: Рис. 7 – Маяк
1 – УЗ излучатели; 2,3 – рабочие зоны излучателя.

Система работала стабильно. Точность определения координат была в пределах ±10см. Были проведены сравнения расчетной скорости распространения УЗ с практическими данными замеров при разных температурных режимах. Погрешности определяли ошибки в замерах расстояния до маяков, периодическая рассинхронизация связи. Возможно погрешность вносило одновременное срабатывание маяков, расположенных под углом 60 градусов.

Электронные модули. На основе схемотехнического моделирования работы электронных компонентов был разработан и изготовлен вычислительный модуль центрального узла системы управления (рис. 7).

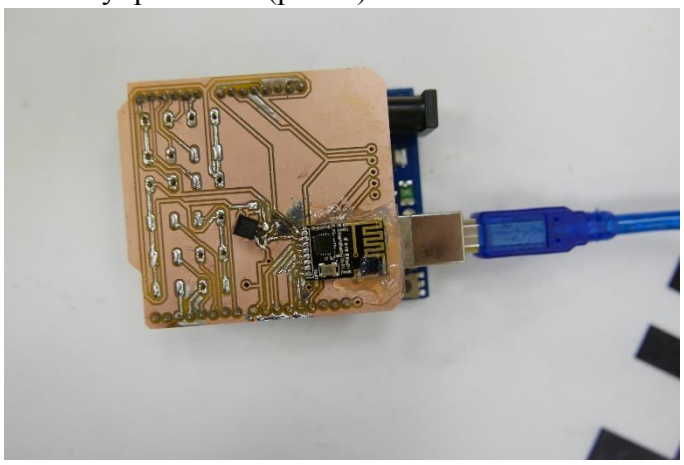


Рис. 8 – модуль центрального узла системы управления

4. Усовершенствование системы

В системе использовались УЗ приемники и передатчик на 40кГЦ. УЗ передатчики имеют не большую мощность излучения, поэтому в приеинике происходит усиление и филитпация сигнала. В данной работе был изготовлен и протестирован аналог стандартного усилителя. (рис. 8).

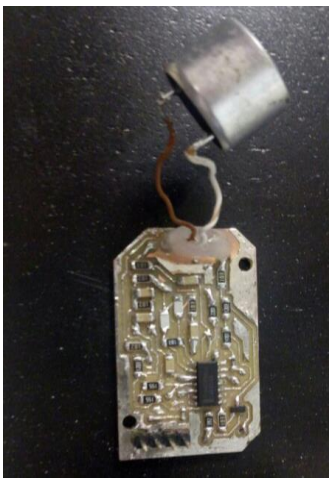
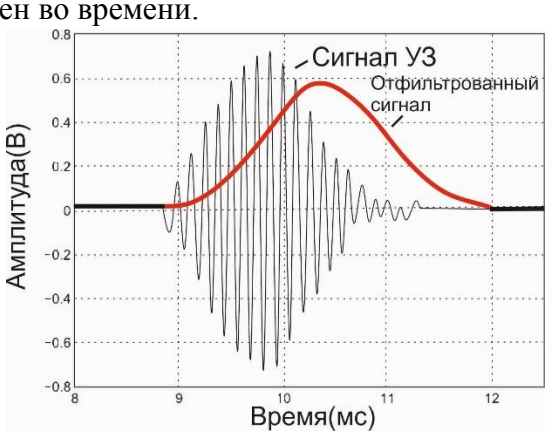


Рис. 8 – Аналог стандартного усилителя

УЗ датчиками Форма сигнала показана на графике (рис.9). После фильтра сигнал смещен во времени.



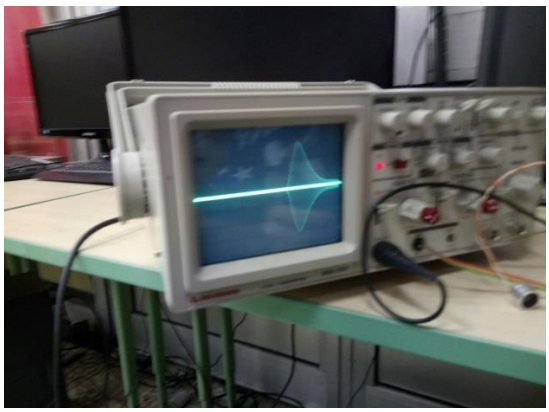


Рис. 9 – График преобразования УЗ сигнала

В дальнейшем будет проведено усовершенствование усилителя для работы с более мощными УЗ излучателями.

5. Изготовление деталей и электронных компонентов

Плата для усилителя и платы для остальных электронных элементов разработаны в среде Eagle Cad (рис. 10). Платы изготовлены на фрезерных станках с ЧПУ (рис. 10, 11, 12).

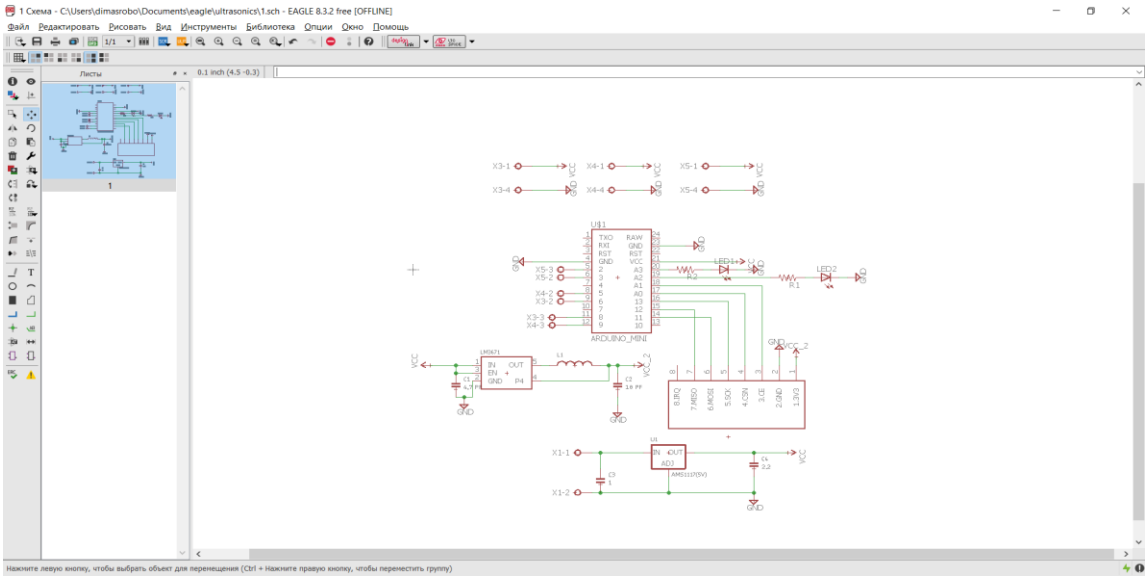


Рис. 10 – Моделирование схемы в Eagle Cad.

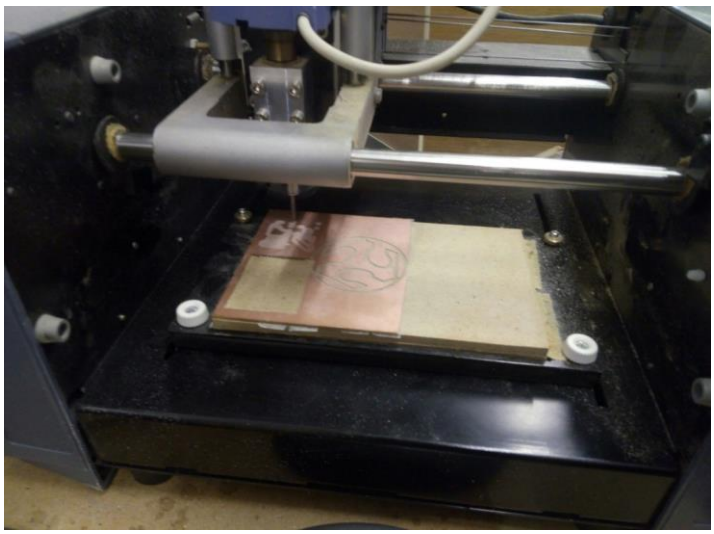


Рис. 11 – Фрезерование печатной платы.

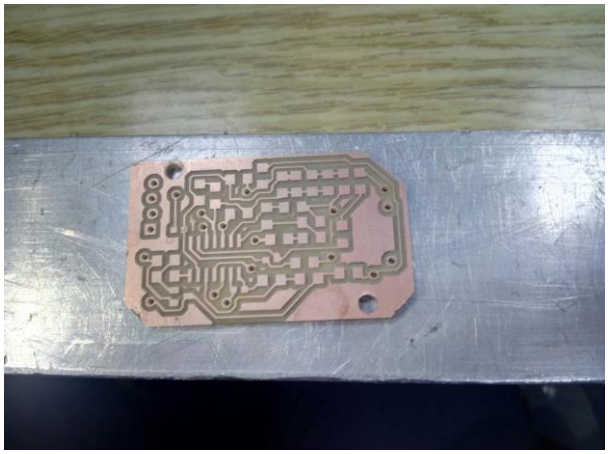


Рис. 12 – Готовая печатная плата.

Элементы конуса и некоторых деталей конструкции разработаны в среде SolidWorks и изготовленны на 3D принтерах Ultimaker 2 и Makerbot (рис. 13,14,15, 16).

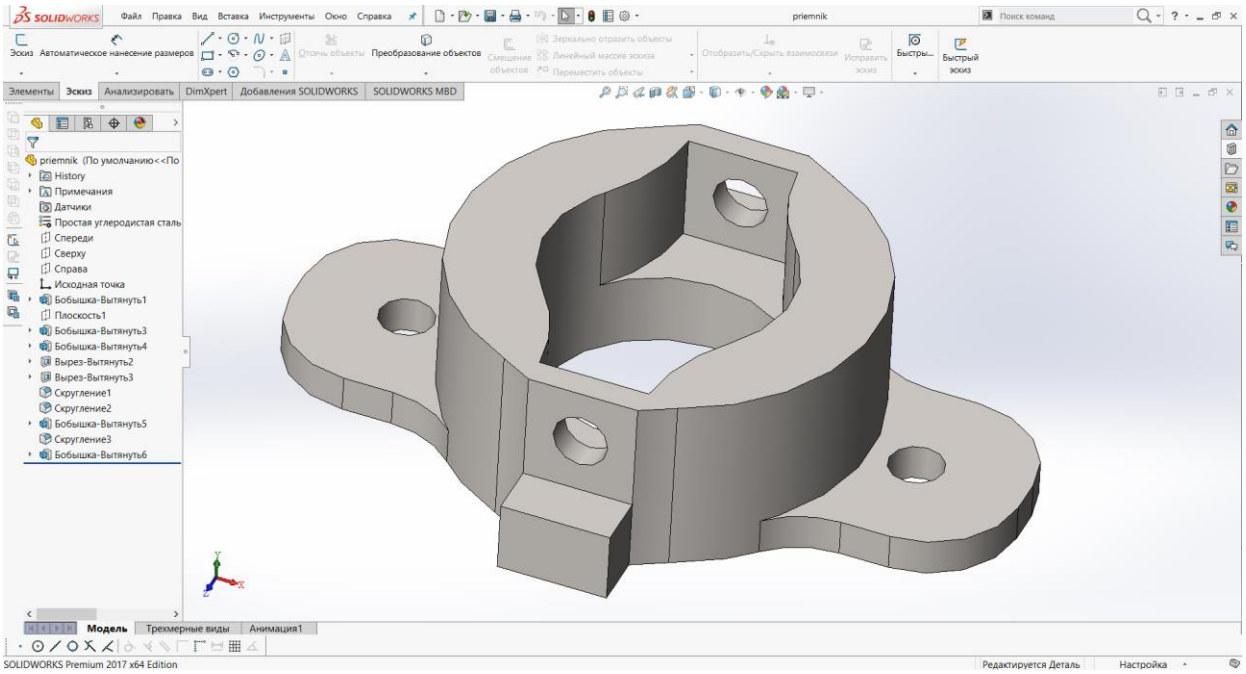


Рис. 13 – Модель детали разработаны в среде SolidWorks.

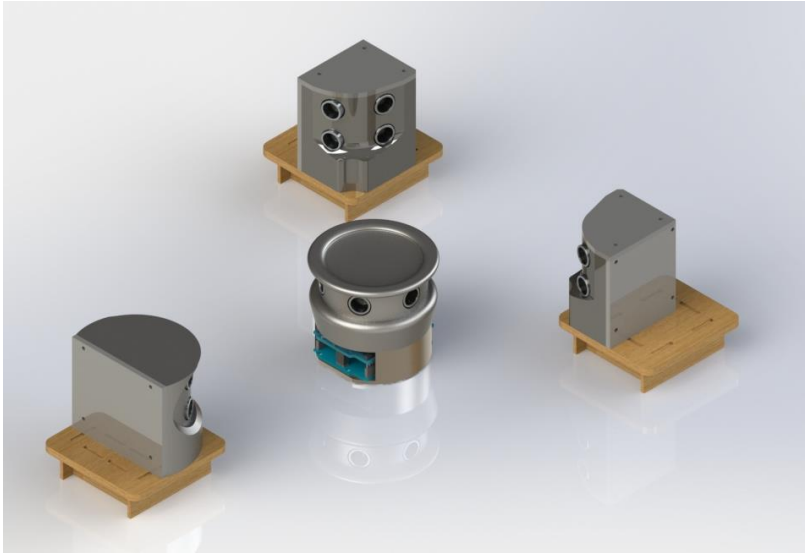


Рис. 14 – Детали в SolidWorks.

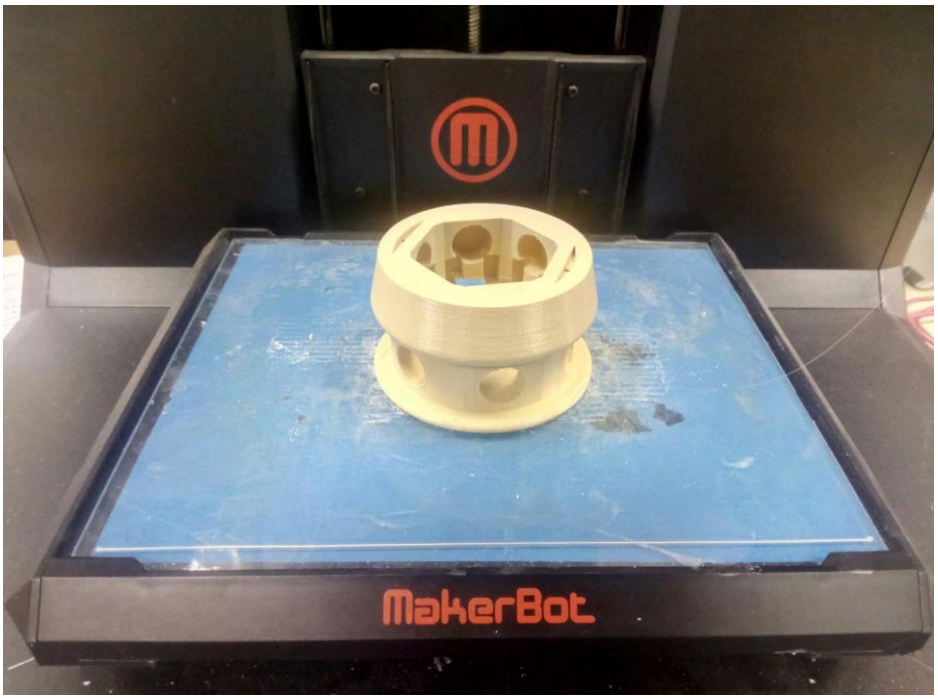


Рис. 15 – Печать корпуса центрального приемника на 3D принтере.

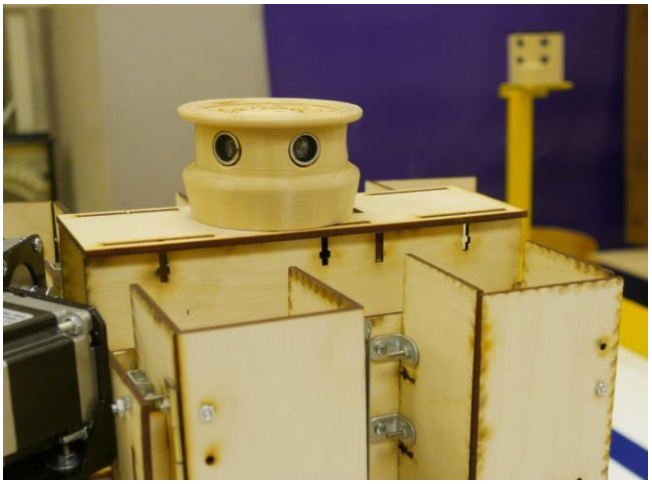


Рис. 16 – Готовая конструкция центрального приемника.

6. Направление дальнейших исследований

По результатам первых тестов определены следующие направления дальнейшей работы:

- усовершенствование усилителя УЗ с целью увеличения зоны покрытия;

- разработка зеркала для УЗ приемника, для установки на роботе (первый тестовый вариант представлен на рисунке 17).

- увеличение точности позиционирования за счет модернизации материальной части и алгоритмов, учитывающих показания большого количества датчиков.

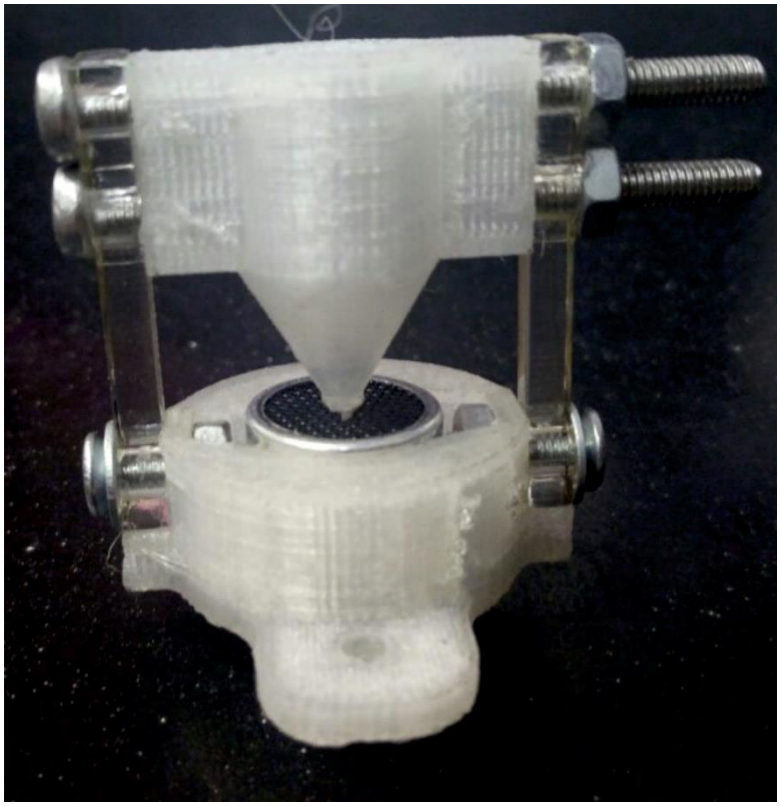


Рис. 17 – Тестовый вариант зеркала УЗ приемника

Заключение

Достигнута точность определения координат в пределах 10см. Разработку можно считать успешной при сравнении с более точными системами доступными на рынке, но значительно более дорогостоящими, использующими небезопасное для глаз лазерное излучение. По сравнению с более дешевыми аналогами разработку отличает лучшая точность и отсутствие необходимости дополнительной программной разработки (автоматически определяются координаты МР).

Разработанная система позволяет обновлять координаты положения МР с частотой 10 Гц на дальности до каждого маяка около 2 м. Испытания показали необходимость установки на робота дополнительных дальномеров для обнаружения препятствий по ходу движения МР.

В развитие проекта целесообразно провести работы для улучшения стабильного приема и увеличения рабочей зоны системы за счет усовершенствования геометрической формы приемных зеркал для УЗ.

Результаты проекта помимо соревнований могут быть полезны при разработке дальнейших проектов, в которых необходимо обнаружение положений мобильных

объектов, например, при разработке роботов-помощников, гидов, в ограниченных пространствах.

Информационные источники

1. Колесников М.А. Аппаратно-программный комплекс по воспроизведению виртуальных изображений на материальной плоскости // Сборник трудов 17-ой международной конференции «Наукоемкие технологии и интеллектуальные системы – 2015» - М.: МГТУ им.Н.Э.Баумана, 22-23 апреля 2015. - С.355-361.
2. Правила молодежных соревнований роботов Евробот 2017: «Город на Луне», основной текст правил: Пер. с англ. с дополнениями НОК Евробот России. / Общ. ред. А.Ю.Вождаев. – М.: Национальный организационный комитет Евробот России, 2016. – 33с., ил. Режим доступа: http://eurobot-russia.org/main/eurobot-2017 – Проверено 10.02.2017г.
3. Сайт Объединенного Студенческого Конструкторского Бюро. Режим доступа: http://class.skycluster.net – Проверено 10.02.2017г
4. Колесников М.А. Аппаратно-программый комплекс по определению местоположения объекта на плоскости методом ультразвуковой триангуляции // сборник научных трудов. 19-ая Молодежная международная научно-техническая конференция "Наукоемкие технологии и интеллектуальные системы 2017". – М.: изд-во МГТУ им.Н.Э.Баумана, 19 апреля 2017 г. – с.234-239.
5. Vlasov A., Yudin A. DISTRIBUTED CONTROL SYSTEM IN MOBILE ROBOT APPLICA TION: GENERAL APPROACH, REALIZA TION AND USAGE // Communications in Computer and Information Science. 2011. T. 156 CCIS. C. 180-192.
6. Лапшинов С., Затекин Д., Кириленко В., Гормакова М. Разработка макета изучения передачи ультразвука для применения в образовании // Многопрофильная конференция исследовательских и проектных работ обучающихся ГБПОУ «Воробьевы горы», 13 февраля 2016 г.
7. Сайт Объединенного Студенческого Конструкторского Бюро. Режим доступа: http://class.skycluster.net – Проверено 10.02.2018г.