

Система обнаружения препятствий для средств индивидуальной мобильности

В. Р. Хаматов

Санкт-Петербургский
государственный
электротехнический
университет «ЛЭТИ»
им. В.И. Ульянова (Ленина)

vrkhamatov@gmail.com

Д. С. Горюнов

Санкт-Петербургский
государственный
электротехнический
университет «ЛЭТИ»
им. В.И. Ульянова (Ленина)

mindvorg@gmail.com

М. В. Кулагин

Санкт-Петербургский
государственный
электротехнический
университет «ЛЭТИ»
им. В.И. Ульянова (Ленина)

mvkulagin@etu.ru

А. И. Блюдин

Санкт-Петербургский
государственный
электротехнический
университет «ЛЭТИ»
им. В.И. Ульянова (Ленина)

aiblyudin@stud.etu.ru

М. Д. Стрельников

Санкт-Петербургский
государственный
электротехнический
университет «ЛЭТИ»
им. В.И. Ульянова (Ленина)

maksim_stv@mail.ru

Г. Ю. Колев

Молодежный Научно-
Исследовательский институт,
Санкт-Петербургский
государственный
электротехнический
университет «ЛЭТИ»
им. В.И. Ульянова (Ленина)

gyukolev@etu.ru

Аннотация. Средства индивидуальной мобильности (СИМ) становятся всё более доступными и востребованными среди жителей больших городов. Этот тип транспорта показал наиболее активные темпы роста популярности. Ввиду доступности СИМ практически всем желающим и достаточно малого опыта управления СИМ у основной части населения, часто доступ к использованию СИМ имеют люди с отсутствием необходимых навыков управления и низким уровнем ответственности. Итогом являются различные инциденты и ДТП с участием СИМ. Эта статья представляет одно из решений для снижения происшествий с участием средств индивидуальной мобильности за счет внедрения автоматизированной системы предотвращения столкновений. Разработанное устройство является встраиваемым и предназначено для дополнительного оснащения средств индивидуальной мобильности. Корпус устройства выполнен из пластика ABS, в нём размещено необходимое оборудование для обработки информации и набор датчиков. Информация о препятствиях и окружающей обстановке собирается с помощью лидаров и ультразвуковых датчиков расстояния. Такая комбинация позволит составить наиболее полную картину для последующего анализа и обеспечить бесперебойность работы устройства. Устройство является защищенным от погодных условий и небольших физических воздействий.

Ключевые слова: обнаружение препятствий; сенсорная система; измерение расстояния; средства индивидуальной мобильности

I. ВВЕДЕНИЕ

На сегодняшний день популярность электросамокатов и СИМ обусловлена их удобством,

Эта статья поддержана Фондом содействия развитию малых форм предприятий в научно-технической сфере (Номер договора 18882ГУ/2023 от 02.10.2023)

экологичностью и доступностью. Многие компании предлагают услуги по прокату электросамокатов на короткий срок. В распоряжении российских компаний-операторов, таких как «Яндекс», «Whoosh» и «Urent» находится 192 000 электросамокатов.

Широкая доступность приводит к тому, что люди без должной подготовки используют СИМ, что увеличивает вероятность возникновения аварий. Даже при максимально допустимой скорости в 25 км/ч СИМ всё равно могут представлять опасность для участников движения и пешеходов.

За период с января по сентябрь 2023 года на территории Российской Федерации было зафиксировано 2640 дорожно-транспортных происшествий с участием электросамокатов и средств индивидуальной мобильности. Число погибших в таких ДТП возросло на 63,2 %, достигнув 31 человека. 2,72 тыс. человек были травмированы, 26 % происшествий произошло на пешеходных зонах [1]. Такая тенденция встречается во многих странах по всему миру [2–3] и требует принятия мер и введения решений по снижению числа инцидентов по вине средств индивидуальной мобильности.

Для того чтобы добиться более высокого уровня безопасности в вопросе СИМ, необходимо создать новое технологическое решение, которое поможет предотвращать столкновения. Идея, к которой приходят многие – создание системы предотвращения столкновений, которая сможет оперативно реагировать на потенциально опасные ситуации и предпринимать соответствующие меры. Такая система может быть основана на использовании лидаров и других дальномерных систем, которые обеспечат непрерывный мониторинг окружающей обстановки и определение

расстояния до препятствий. При обнаружении угрозы столкновения система сможет автоматически активировать тормоза или включить предупредительные сигналы, предоставляя водителю больше времени на реакцию или вовсе предотвращая аварию [4–6].

Системы подобного назначения в настоящее время активно разрабатываются для различных областей. Такие устройства можно встретить в робототехнике и системах с автономным управлением [7]. Так же есть примеры подобных устройств и в сфере обеспечения безопасности для средств индивидуальной мобильности [8–10].

Описанное в статье решение использует опыт применения различных датчиков для обнаружения препятствий и предлагает достаточное и масштабируемое решение для обеспечения безопасности при использовании СИМ.

II. КОНСТРУКЦИЯ РАЗРАБАТЫВАЕМОЙ СИСТЕМЫ

Одним из главных требований при разработке системы предотвращения столкновений является конструкция, которая не создаст помех для управления самокатом и опасности для окружающих. По этой причине большое внимание уделялось весу и размеру корпуса. Эти параметры напрямую влияют на удобство использования СИМ, так как девайс находится непосредственно на рулевой стойке. Благодаря использованию ABS пластика корпус имеет небольшой вес. Размер корпуса не оказывает воздействие на маневрирование и движения в условиях ограниченного пространства.

На рис. 1 представлена модель устройства. Корпус состоит из нескольких частей, напечатанных с использованием технологии 3д печати. Все части корпуса соединены винтами и герметизированы.

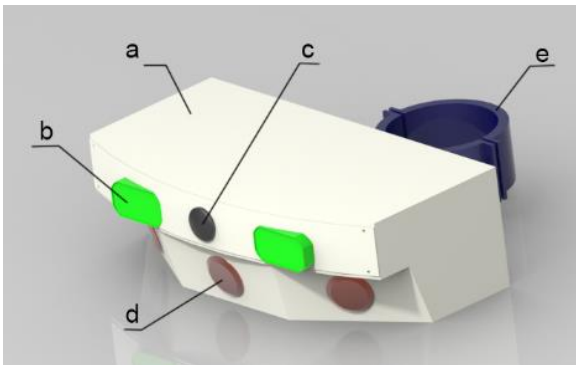


Рис. 1. 3D модель устройства предотвращения столкновений. а – корпус устройства, б – дальномеры Benewake LiDAR TFmini Plus, с – камера, d – модуль ультразвукового датчика расстояния JSN-SR04T. e – кольцевого крепления

Вес устройства составляет 360 грамм, а размер корпуса 100x200 мм. Датчики в корпусе расположены таким образом, что суммарный угол обзора при виде сверху составляет 108 градусов, а при виде сбоку 42 градуса, относительно параллели горизонта. Такой угол обзора способствует получению полной и точной информации о наличии препятствий вокруг, что позволяет эффективно реагировать на возможные угрозы. На рис. 2 изображена диаграмма направленности используемых датчиков.

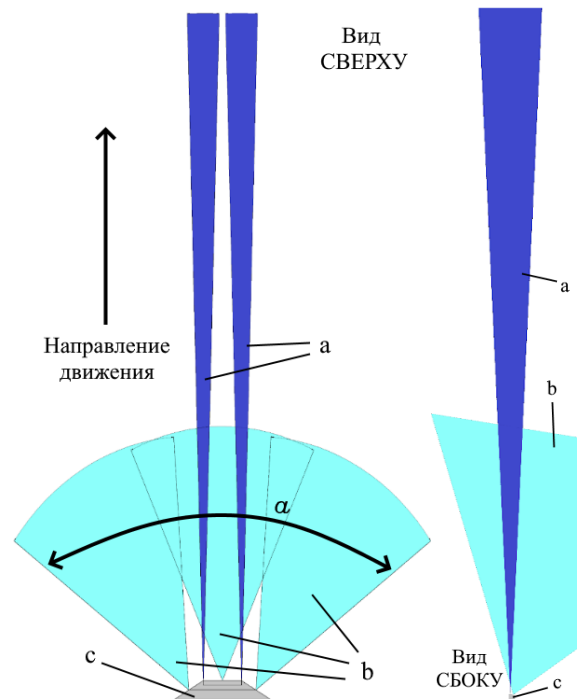


Рис. 2. Диаграмма направленности используемых датчиков. а – диаграмма направленности Benewake LiDAR TFmini Plus, б – диаграмма направленности ультразвуковых датчиков расстояния JSN-SR04T, с – корпус устройства предотвращения столкновений

Дальность обнаружения препятствий лидарами составляет 12 метров, а ультразвуковыми датчиками 4,5 метра. Угол обзора инфракрасных датчиков равен 3.6 градуса, а у ультразвуковых датчиков расстояния 50 градусов. Такой набор датчиков позволяет наиболее полно и точно оценивать окружающую ситуацию и при этом иметь низкую стоимость и сложность конструкции.

Скорость отклика составляет не более 0.7 секунды, с момента обнаружения препятствия. Такой показатель позволяет своевременно и плавно снизить скорость или полностью остановиться в случае возникновения препятствия.

Внутри корпуса установлен одноплатный компьютер Raspberry Pi. Основными процессами в системе являются процессы считывание и обработка данных с инфракрасных датчиков и лидаров. Микрокомпьютер Raspberry Pi 3B+ обладает 4-ядерным процессором и 1 Гб оперативной памяти, что позволяет ему эффективно обрабатывать данные с датчиков. Устройство с такой вычислительной мощностью было выбрано для последующей масштабируемости разрабатываемого решения. Например, для подключения GPS модуля и отправки данных на сервер, реализации алгоритмов распознавания препятствий и регистрации событий с камер и т. д. [10–11]

Разработанная система питается от аккумулятора средства индивидуальной мобильности. Для преобразования, стабилизации напряжения и удобства подключения периферийных устройств к Raspberry Pi – была разработана плата расширения, электросхема которой изображена на рис. 3.

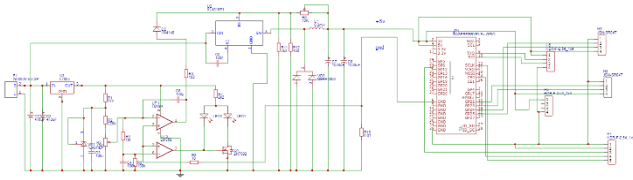


Рис. 3. Электросхема платы расширения с понижающим модулем напряжения

На рис. 4 представлена модель разработанной платы и её интеграция с Raspberry Pi.

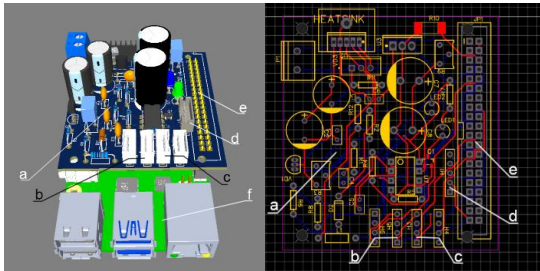


Рис. 4. Модель разработанной платы. а – модуль, понижающий напряжение, б – разъемы для подключения Venewake LiDAR TFmini Plus, с – разъемы для подключения ультразвуковых датчиков расстояния JSN-SR04T, d – разъем для подключения светодиодной матрицы, e – разъем для соединения платы расширения и Raspberry Pi 3B+

Для осуществления питания на плате был разработан модуль, понижающий напряжение до 5V на основе XL4016E1, Buck DC-DC преобразователя. Расчетное входное напряжение рассчитано от 7 до 35 вольт. Мощность потребления всей системы 10 Вт. Плата устойчива к скачкам напряжения. Также на плате расширения расположены разъемы для подключения ультразвуковых датчиков, лидаров и светодиодной матрицы. Для вывода информации о возникновении препятствия в пространстве был выбран модуль точечной матрицы размером 8x8. Управлением производится при помощи микросхемы для управления 8 ми сегментными индикаторами – MAX7219. Передача данных производится при помощи интерфейса SPI.

III. АЛГОРИТМ РАБОТЫ СИСТЕМЫ ПРЕДОТВРАЩЕНИЯ СТОЛКНОВЕНИЙ

При запуске Raspberry Pi и операционной системы Linux с помощью утилиты Stop происходит автоматический запуск программы, обеспечивающей работу алгоритма. На данном этапе происходят активации соответствующих драйверов устройств, что позволяет программам общаться с периферией посредством интерфейсов UART, SPI, GPIO. Происходит связывание пинов Raspberry Pi с драйверами операционной системы.

Передача данных между ультразвуковым датчиком и микрокомпьютером происходит с помощью интерфейса UART. Ультразвуковой датчик передает цикловой период – временной интервал между отправкой двух последовательных ультразвуковых импульсов, при помощи которого вычисляется расстояние по (1):

$$distance = (pulse_duration * V_{зв}) / 2, \quad (1)$$

где $pulse_duration$ – цикловой период, $V_{зв}$ – скорость звука.

Взаимодействие между лидарами и микрокомпьютером происходит через интерфейс UART, с помощью которого считывается набор байтов необходимых для вычисления. При наличии нужного количества данных дистанция до препятствия вычисляется с помощью формулы (2):

$$distance = Byte[2] + Byte[3] * 256, \quad (2)$$

где $Byte[2]$ и $Byte[3]$ числа в шестнадцатеричной системе счисления, которые отражают расстояния до объектов.

Исходя из вычисленных расстояний датчиками до препятствий, пространство видимости делится на сектора, где каждый сектор определяется степенью опасности столкновения. Выделяется три вида секторов:

- Препятствие далеко – сектор зеленого цвета и сила торможения равняется от 0 % до 25 %, что соответствует небольшой степени опасности.
- Препятствие близко – сектор желтого цвета и сила торможения равняется от 25 % до 75 %. В данной зоне препятствие имеет угрозу для конечного пользователя СИМ.
- Препятствие очень близко – сектор красного цвета и сила торможения составляет от 75 % до 100 %. В этой области применяется экстренное торможение.

Схема разделения области видимости на сектора представлена на рис. 5. Такое разделение следует из конструктивных особенностей расположения датчиков в корпусе.

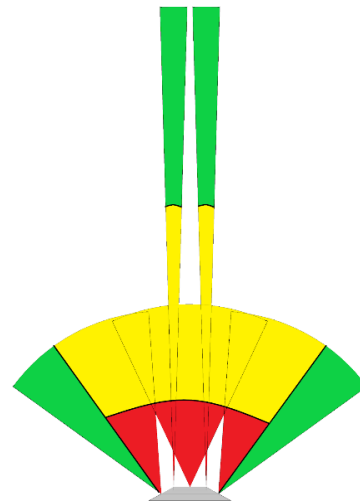


Рис. 5. Схема разделения области видимости.

Для обнаружения препятствий в секторе используются измеренные расстояния с датчиков, и высчитывается количество долей, от самой дальней к самой ближней, которые соответствуют изложенной модели разделения сектора на доли, согласно его типу.

После расчета препятствий формируется итоговая матрица, которая отображает общую картину обнаруженных объектов в каждом из секторов. Элементы в матрице имеют три типа:

- 0 – слепая зона датчика

- 1 – препятствий нет
- 2 – есть препятствие

Для определения силы торможения производится анализ итоговой матрицы, согласно которому генерируется ШИМ сигнал (1 – минимальный тормоз, 255 – максимальный тормоз), который подается на контроллер мотор-колеса самоката.

IV. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В ходе разработки было представлено решение для снижения происшествий с участием средств индивидуальной мобильности за счет внедрения автоматизированной системы предотвращения столкновений. Был разработан корпус устройства из пластика ABS, обеспечивающий надежную защиту электронных компонентов от внешних воздействий. Компоновка электронных устройств была выполнена с учетом надежности при использовании на неровной дороге. Также был разработан алгоритм, обеспечивающий корректное обнаружение препятствий. Были начаты испытания системы в условиях близких к реальным. В дальнейшем планируется расширение функциональности устройства, а также проведение дополнительных тестов и оптимизация производства. Эти усовершенствования помогут повысить уровень безопасности на дорогах и улучшить пользовательский опыт при использовании средств индивидуальной мобильности.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- [1] Bakanov K.S., Lyakhov P.V., Aysanov A.S., Isaev M.M., Koblov P.S., Sahakyan A.S., Selednikov N.V., Tsaregorodtseva E.A., Naumov S.B., Gavrilenko A.A. Road traffic accident rate in the Russian Federation for 9 months 2023. Informational and analytical review. M.: FCU "NC BDD MVD Russia", 2023, 40 p.
- [2] Kleinertz H. et al. Risk factors and injury patterns of e-scooter associated injuries in Germany //Scientific reports. 2023. T. 13. №. 1. C. 706.
- [3] Demir N. et al. Electric scooters as a silent source of danger in increasing use among young people: a single-center in-depth accident analysis //Turkish Journal of Trauma & Emergency Surgery. 2023. T. 29. №. 5. C. 596.
- [4] Mauro D'Addato. Design of a smart sensor for obstacles detection on electric scooters or bicycles. Rel. Daniele Trincherio. Politecnico di Torino, Corso di laurea magistrale in Ingegneria Elettronica (Electronic Engineering), 2021.
- [5] Enrico Guglielmi. Modelling and simulation of a smart obstacle detection sensor for a bike or scooter with model-based design. Rel. Massimo Violante. Politecnico di Torino, Corso di laurea magistrale in Mechatronic Engineering (Ingegneria Meccatronica), 2023.
- [6] Athul P., A Deepak Praveen, Gayak Narayan, Sreeram J., Hemanth Kumar, Rajasree S.R., Akhil M.S. Microcontroller based Intelligent Braking System in Electric Scooters // 2020 5th International Conference on Communication and Electronics Systems (ICCES), Coimbatore, India, 10-12 June 2020. IEEE, 2020. DOI: 10.1109/ICCES48766.2020.9137951.
- [7] Kolev G. et al. Sensor subsystem design for small unmanned surface vehicle // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. – IOP Publishing, 2019. T. 630. №. 1. C. 012022.
- [8] Carrara E. et al. Identifying and selecting key sustainable parameters for the monitoring of e-powered micro personal mobility vehicles. Evidence from Italy // Sustainability. 2021. T. 13. №. 16. C. 9226.
- [9] Jang W.J., Kim D.H., Lim S.H. An AI safety monitoring system for electric scooters based on the number of riders and road types // Sensors. 2023. T. 23. №. 22. C. 9181.
- [10] Kim E. et al. Safety monitoring system of personal mobility driving using deep learning // Journal of Computational Design and Engineering. 2022. T. 9. №. 4. C. 1397-1409.
- [11] Chen Y.D., Chang Y.C. AI-DAS: AI-Based Driving Assistance System for Scooters for Traffic Accident Avoidance // Engineering Proceedings. 2023. T. 55. №. 1. C. 58.