

Gushanskiy Sergey Mikhailovich – Southern Federal University; e-mail: smgushanskiy@sfedu.ru; Taganrog, Russia; phone: +78634371656; the department of computer engineering; cand. of eng. sc.; associate professor.

Potapov Victor Sergeevich – e-mail: vitya-potapov@rambler.ru; phone: +78634371656; the department of computer engineering; assistant.

Bozhich Vladimir Ivanovich – FSBEI HE “RSEU (RINH)”, Taganrog Institute A.P. Chekhov, e-mail: vladimir.bozhich@gmail.com; Taganrog, Russia; phone: +78634601812; the department of biological and geographical education and health preserving disciplines; dr. of eng. sc.; professor.

УДК 004.738.2

DOI 10.18522/2311-3103-2023-5-16-34

Ю.А. Заргарян, Е.В. Заргарян, В.И. Кошенский, К.О. Кирсанов
РАЗРАБОТКА СИСТЕМЫ ИЗБИРАТЕЛЬНОГО ПОДАВЛЕНИЯ
БЕСПРОВОДНЫХ СИГНАЛОВ

Использование устройств с беспроводной передачей данных в современном мире давно стало обыденностью. К подобным устройствам относятся смарт-часы, беспроводные наушники и гарнитуры. Такие устройства обеспечивают мобильность и удобство отсутствием проводов и высокой функциональностью. Одним из существенных недостатков использования беспроводных устройств является снижение эффективности восприятия окружающего мира человеком, в частности это касается слухового канала информации. Особенно остро такая проблема возникает при переходе железнодорожных путей пешеходами в наушниках. В данной работе предлагается решение такой проблемы, рассматривается система избирательного подавления беспроводной связи, а именно сигналов Bluetooth и Wi-Fi. Такая система на базе уникальных алгоритмов имеет возможность обнаружения приближения пешеходов к железнодорожным переходам с помощью видеокамер, а также на основе сканирования и анализа эфира окружающих беспроводных сетей может избирательно подавлять сигналы Bluetooth и Wi-Fi в зоне действия установки. Таким образом, система отключает беспроводные устройства пешеходов вблизи железнодорожных переходов, тем самым привлекает их внимание к запрещающему сигналу светофора, светомушовой сигнализации и приближающему поезду. Система работает на основе главного управляющего микроконтроллера, который с помощью реле контролирует подачу электропитания на включение подавителя только при обнаружении в радиусе досягаемости беспроводных сигналов, которые необходимо подавить, или при наличии пешеходов в поле зрения видеокамер. Кроме того, система подразумевает метод оценки паттернов поведения пешеходов при подавлении беспроводной связи на основе нейросетей по распознаванию образов с последующей интерпретацией полученных данных. Это позволит собрать статистическую информацию с целью анализа реакции людей на работу системы вблизи железнодорожных переходов.

Избирательное подавление; беспроводные сигналы; сигналы Bluetooth и Wi-Fi; уникальные алгоритмы; обнаружение пешеходов; сканирование эфира; повышение безопасности; железнодорожный переход; паттерны поведения.

Yu.A. Zargaryan, E.V. Zargaryan, V.I. Koshensky, K.O. Kirsanov
DEVELOPMENT OF A SYSTEM OF SELECTIVE SUPPRESSION
OF WIRELESS SIGNALS

The use of devices with wireless data transmission has long become commonplace in today's world. Such devices include smart watches, wireless headphones and headsets. Such devices provide mobility and convenience with the absence of wires and high functionality. One of the significant disadvantages of using wireless devices is a decrease in the efficiency of human perception of the surrounding world, in particular it concerns the auditory channel of information. Especially

acute such a problem arises when pedestrians crossing railroad tracks wearing headphones. In this paper a solution to such a problem is proposed, a system of selective suppression of wireless communication, namely Bluetooth and Wi-Fi signals is considered. Such a system based on unique algorithms has the ability to detect the approach of pedestrians to railroad crossings using video cameras, and based on scanning and analyzing the airwaves of surrounding wireless networks can selectively suppress Bluetooth and Wi-Fi signals in the area of the installation. Thus, the system disables pedestrians' wireless devices near railroad crossings, thereby drawing their attention to the prohibited traffic signal, light and noise signaling, and approaching train. The system is based on a master control microcontroller, which controls, via relays, the power supply to turn on the suppressor only when wireless signals to be suppressed are detected in range or when pedestrians are in the field of view of video cameras. In addition, the system involves a method for estimating patterns of pedestrian behavior during wireless suppression based on neural network-based pattern recognition, followed by interpretation of the resulting data. This will make it possible to collect statistical information in order to analyze the reaction of people to the operation of the system near railway crossings.

Suppressor; selective suppression; wireless signals; Bluetooth and Wi-Fi signals; unique algorithms; pedestrian detection; air scanning; safety enhancement; railroad crossing; behavior patterns.

Введение. В современном мире очень распространены устройства беспроводной связи: часы, наушники, гарнитуры – всё это придаёт не только удобство и мобильность современному человеку, разнообразие функциональных возможностей и контента по типу мобильной связи, музыки, аудиокниг, видео, но и несёт вместе с тем потенциальную опасность жизни и здоровью человека, поскольку оказывают негативное влияние на его бдительность и зачастую мешают оперативной оценке обстановки и окружения в условиях оживлённой городской среды. Значительно снижаются возможности зрительного и слухового каналов восприятия информации. Особенно остро это касается автодорог и железнодорожных переходов. В рамках данной статьи речь пойдёт о проблемных ситуациях и методах их разрешения применительно к инфраструктуре РЖД [1–3].

Обеспечение безопасности людей в различных сферах деятельности является актуальной задачей в настоящее время, которая требует эффективных и надёжных решений. Данный вопрос не обходит стороной и сферу железнодорожного транспорта. Железная дорога является зоной повышенной опасности, в частности это касается железнодорожных переходов, переездов и других потенциально опасных участков путей, где может оказаться человек. Данная проблема очень актуальна, так как ситуацию зачастую осложняют сами люди, которые не соблюдают минимальные правила безопасности и дорожного движения, теряют бдительность и подвергают себя риску. Одним из ярких примеров несоблюдения минимальных правил безопасности является использование беспроводных аудиоустройств и иной носимой электроники вблизи железнодорожных переходов и переездов, что не позволяет вовремя заметить приближающийся поезд, запрещающие сигналы светофора и светового сигнала, что часто приводит к трагедиям [4–6].

Статистика несчастных случаев. По информации ОАО «РЖД» только за последние 5 лет в период 2017–2022 гг. ситуация с травматизмом и несчастными случаями развивается в худшую сторону, наблюдается стремительное увеличение динамики производственного травматизма на железнодорожных переходах, что говорит о негативном развитии уровня безопасности пешеходов. Только по Северо-Кавказской железной дороге в данный период травмировано более 500 человек, в том числе 48 на пешеходных железнодорожных переходах. При этом, по судебным искам ОАО «РЖД» было выплачено компенсаций на сумму свыше 72 млн. руб. Согласно исследованиям 20% смертельных случаев приходится на пешеходов в беспроводных наушниках, которые не слышат приближающегося поезда и пре-

дупреждающих сигналов световых сигнализаций. Для исключения смертельных исходов в этих случаях требуется оснащение нерегулируемых переходов системами избирательного подавления беспроводной связи. В марте 2023 был получен прямой запрос от представителей филиала ОАО «РЖД» Северо-Кавказской железной дороги на проведение исследований, направленных на возможность избирательного подавления беспроводных сигналов для инфраструктуры РЖД. Данная разработка будет иметь социальную значимость и направлена на создание инновационной системы подавления беспроводных сигналов для носимой электроники с целью повышения бдительности пешеходов при переходе через железнодорожные пути.

Анализ существующих решений и патентный поиск. В рамках данной разрабатываемой системы на первом этапе работы, согласно поставленным целям, были проведены патентный поиск и исследования существующих решений. Прямое решение проблемы непроизводственного травматизма на железнодорожных переходах в открытых источниках отсутствует. Патентный поиск выполнялся по отечественным и зарубежным базам. Было проанализировано более 1500 патентов, по результатам патентного поиска было отобрано 90 и найдено 5 ближайших аналогов [7]:

1. US20170117974A1 Signal Separation And Suppression System And Method (2015, USA).
2. CN102684812B Multifunctional signal suppression system (2012, China).
3. US20110223851A1 Multi-band jammer including airborne systems (2010, USA).
4. RU2669775C1 Способ подавления канала передачи непрерывной информации путём воздействия на него организованной импульсной помехой (2017, Россия).
5. RU182622U1 Адаптивный подавитель пассивных помех (2018, Россия).

По результатам анализа патентного поиска можно сделать вывод, что разрабатываемая система не имеет аналогов на внутреннем рынке современных технологичных решений Российской Федерации и будет обладать следующими существенными отличительными признаками:

1. В состав системы будет включён управляющий контроллер, позволяющий осуществлять сканирование окружающего пространства на предмет выявления внешних сигналов беспроводной связи.
2. В состав системы будут включены видеочамеры для отслеживания и анализа паттернов поведения пешеходов при подавлении сигналов беспроводных устройств.

Указанные существенные отличительные признаки обеспечат повышенную надёжность системы и возможность сбора статистической информации, а также значительно увеличат срок службы подавителя благодаря его периодической работе [8].

Статистическая информация о паттернах поведения пешеходов в зоне действия подавителя позволит найти пути дальнейшего совершенствования системы, а также позволит разработать новые направления по предупреждению смертельных случаев на нерегулируемых железнодорожных переходах.

Разработка системы избирательного подавления. Подавитель беспроводных сигналов представляет собой аппарат, препятствующий передаче информации в беспроводной персональной сети между двумя сопряжёнными устройствами. Изначально подобное оборудование предназначалось с целью подавления радиосвязи противника и защиты от средств прослушивания или слежения на военных или стратегических объектах. В настоящее время подаватели беспроводной связи используются [9]:

1. В компаниях для сохранения конфиденциальной информации и борьбы с промышленным шпионажем.
2. В самолётах, лечебных заведениях и исследовательских лабораториях для бесперебойной работы чувствительного оборудования.
3. В метро для предотвращения террористических актов.
4. В исправительных учреждениях для предупреждения передачи информации криминальными элементами своим подельникам.
5. В учебных заведениях при проверке знаний, вовремя сдаче экзаменов.
6. В местах, где использование мобильной радиосвязи будет мешать проведению мероприятия.

Принцип работы подавителя беспроводной связи напрямую зависит от технологии беспроводной связи, на подавление которой он рассчитан. Например, подавитель Bluetooth-сигналов основан на базовых понятиях технологии беспроводной передачи данных Bluetooth, которая осуществляется с помощью дециметровых радиоволн в диапазоне от 2402 МГц до 2480 МГц между двумя или несколькими устройствами посредством установленных в них специальных модулей или чипов. При этом возможно создание пикосети, в которой может существовать лишь одно главное устройство и до семи вспомогательных. Для обособленной работы Bluetooth-пары, её устойчивости к помехам и защите передаваемых данных в технологии применяется алгоритм Frequency Hopping Spread Spectrum, другими словами, скачкообразная перестройка частоты в спектре распространения сигнала. Суть данного алгоритма в том, что частота сигнала Bluetooth меняется скачкообразно 1600 раз в секунду, поэтому, чтобы помешать подобной передаче данных, существуют два способа:

1. Воздействовать на Bluetooth-сигнал DDoS-атакой.
2. Глушители и подавители Bluetooth-сигнала.

Если говорить о первом способе, то речь идёт о разрыве сопряжения между двумя связанными в одной сети устройствами при помощи специального программного обеспечения. Одним из таких ПО является Kali Linux – это операционная система (дистрибутив), основанная на ядре Linux и изначально предназначенная её создателями (Matthias Aarons и Max Moser) для проведения тестирования на безопасность от проникновения [10–12].

Воздействие с помощью Kali Linux предполагает влияние на устройство Bluetooth в виде DDoS-атаки с последующим внедрением в сигнал и само устройство, что находится за рамками юридического законодательного поля Российской Федерации. Кроме того, самые распространённые носимые устройства Bluetooth и гарнитуры работают на данной технологии от версии 4.2 до версии 5.0, в которых есть защита от подобного воздействия ещё с 2010 года.

Если рассматривать второй подход воздействия на беспроводной сигнал путём глушителей и подавителей Bluetooth-сигнала, важно разобраться в принципе работы подобных устройств и сигнала, на который они влияют. Обычно полезный сигнал представляет собой электромагнитные волны низкой частоты, которые достаточно трудно передать. Для решения этой проблемы используется модуляция. Модуляция представляет собой преобразование одной либо нескольких характеристик несущего высокочастотного электромагнитного колебания в соответствии с параметрами низкочастотного модулирующего сигнала. Пример амплитудной модуляции приведён на рис. 1.

На рис. 1 на первом графике изображён пример длинноволнового сигнала, который необходимо передать. На втором графике приведён несущий сигнал высокой частоты, который и позволит осуществить передачу информационного сигнала. На третьем графике изображён промоделированный сигнал. Амплитуда высокочастотного ко-

лебания изменяется по закону полезного сигнала. Для передачи полезного сигнала несущая волна может изменять амплитуду, частоту и фазу. Из этого следует, что существует три вида модуляции: амплитудная, частотная и фазовая. В результате такого преобразования длинноволновый полезный сигнал переносит свой спектр в область достаточно высоких частот, чтобы их было возможно передать без использования чрезмерно больших антенн. Диапазоны несущих частот стандартизированы. Каждый из таких диапазонов имеет свою сферу применения. Наиболее распространёнными стандартами несущих частот являются: FM – 88-108 МГц, GSM900 – 925-960 МГц, GSM1800 – 1805-1880 МГц, GPS L1 – 1570-1620 МГц, GPS и ГЛОНАСС L2 – 1200-1310 МГц, GPS и ГЛОНАСС L3 – 1380-1410 МГц, 3G – 2110-2170 МГц, 4G WIMAX – 2570-2690 МГц, 4G LTE – 791-820 МГц, Wi-Fi и Bluetooth – 2400-2500 МГц. Количество устройств, использующих технологию радиосвязи, достаточно велико.

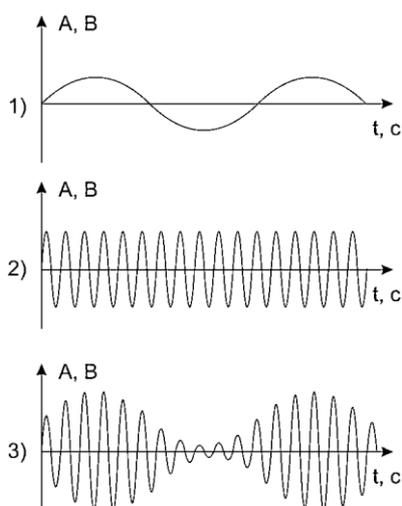


Рис. 1. Амплитудная модуляция сигнала

Довольно распространены устройства, управление которыми осуществляется при помощи беспроводной связи, например, беспилотные летательные аппараты или электронные замки. Помимо них имеют широкое распространение устройства, обеспечивающие коммуникацию между людьми при помощи беспроводной связи, например, мобильные телефоны. В ряде случаев, например, на совещании или в библиотеке, применение устройств, вроде сотового телефона, может доставить определённый дискомфорт окружающим людям или же с помощью его можно осуществить передачу конфиденциальной информации. Иногда с помощью беспроводных устройств радиосвязи можно осуществлять деятельность, угрожающую жизни людей. Генераторы помех в сетях беспроводных связей, которые при включении делают невозможным использование конкретных или любых беспроводных устройств, позволяют решить такие проблемы. Чтобы нарушить работу беспроводного устройства, необходимо создать в области действия этого устройства помеху, не дающую возможность принять необходимый для его работы сигнал. Сигнал помехи изменяет полезный сигнал так, что принимающее устройство перестаёт его распознавать. Пример влияния помех на полезный сигнал представлен на рис. 2-5.

На рис. 2 изображён пример полезного сигнала. В данном случае у несущего сигнала изменяется амплитуда по закону информационного сигнала.

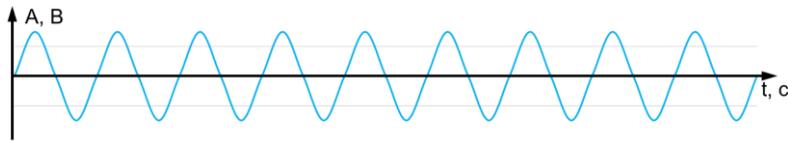


Рис. 2. Полезный сигнал

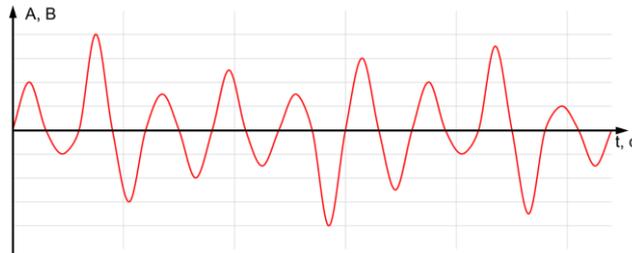


Рис. 3. Сигнал аналогичной частоты со стохастически изменяющейся амплитудой

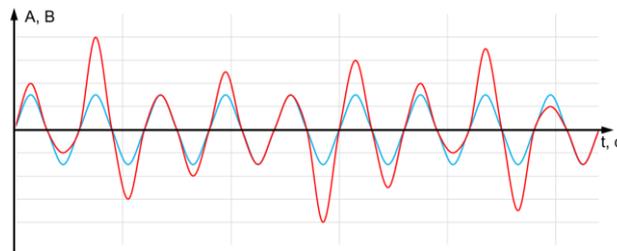


Рис. 4. Наложение двух сигналов друг на друга

Для его искажения необходимо излучать в пространство сигнал аналогичной частоты со стохастически изменяющейся амплитудой. Такой сигнал изображён на рис. 3. В результате два этих сигнала накладываются друг на друга, как показано на рис. 4, и получается искажённый сигнал, приведённый на рис. 5. Также из рис. 5 видно, что сигнал помехи должен иметь большую мощность для перекрытия полезного сигнала, иначе полезный сигнал сам перекроет помеху и сведёт на нет её воздействие [13–15].

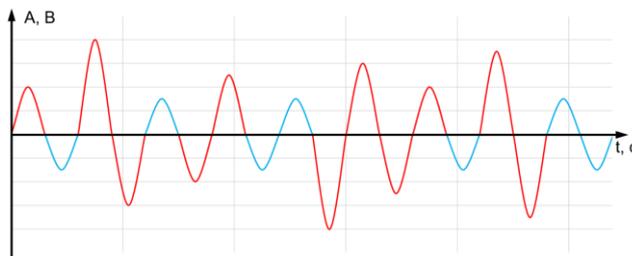


Рис. 5. Искажённый сигнал

Такой принцип работы реализован в средствах подавления радиосигналов вне зависимости от их конструкции, назначения и цены. Устройства создания по-

мех различаются, в первую очередь, по мощности излучаемых помех и по количеству подавляемых диапазонов частот. Также подавители радиосигналов делятся на мобильные устройства и стационарные станции. Стационарные бывают как мало функциональными устройствами, с радиусом действия в несколько десятков метров, подавляя при работе 6-10 диапазонов частот, так и более мощными приборами с обширным количеством своих возможностей.

Очень важно было на ранних этапах работы изучить возможные риски воздействия подавителей беспроводной связи на устройства жизнеобеспечения и угрозу создания помех для них. Проанализировав принципы работы различных видов кардиостимуляторов, слуховых аппаратов и подавителей беспроводных сигналов, было установлено, что на работу устройств поддержания жизни влияют электромагнитные поля. Важно отметить, что беспроводные сети (Bluetooth, Wi-Fi, Lora WAN, GSM и другие) не относятся к данной категории и не оказывают никакого влияния на работу кардиостимуляторов, слуховых аппаратов. Поскольку подавители беспроводных сигналов, работают по принципу создания помех на тех же частотах, что и сами беспроводные сети, и соответственно также не способны оказывать влияния на работу устройств жизнеобеспечения.

Проработка решений. В 2023 году проблеме травматизма и несчастных случаев из-за использования наушников вблизи железнодорожных переходов и поездов ОАО «РЖД» были посвящены множество тематических конкурсов, конференций и форумов, из которых стоит отметить «День инноваций ОАО «РЖД» Северо-Кавказской железной дороги, конкурс молодёжных проектов ОАО «РЖД» «Новое звено», образовательная конференция для молодёжи Северо-Кавказской железной дороги «XVI Слёт молодёжи С-КАВ». На данных мероприятиях авторами статьи была представлена концепция системы избирательного подавления беспроводных сигналов для обеспечения безопасности пешеходов на железнодорожных переходах. Общий вид системы представлен на рис. 6.



Рис. 6. Общий вид системы избирательного подавления беспроводных сигналов

На основе обратной связи от экспертной группы ОАО «РЖД» были разработаны общая структурная схема, отражающая основные элементы и связи между ними, представленная на рис. 7, и функциональная схема системы, представленная на рис. 8.

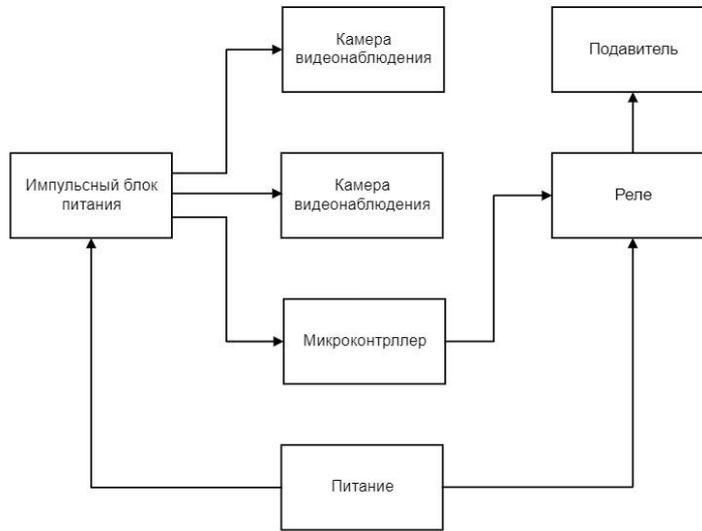


Рис. 7. Общая структурная схема системы

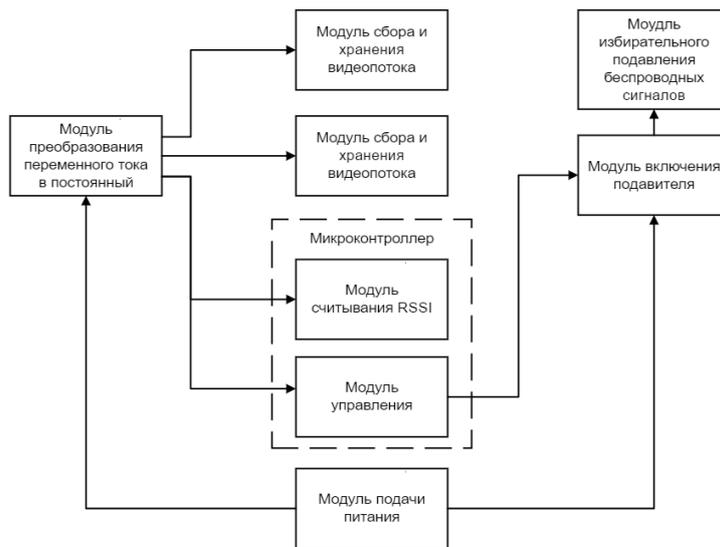


Рис. 8. Функциональная схема системы

При решении задач вышеуказанной проблемы предполагается разработка уникальных алгоритмов обнаружения приближения пешеходов к железнодорожным переходам, как показано на рис. 9. Это позволит реализовать работу системы подавления в заданные интервалы времени, с целью повышения её ресурса [16–17].

Также в системе предполагается использовать разработанный метод избирательного подавления беспроводной связи, основанный на анализе сигналов Bluetooth и Wi-Fi в зоне действия установки, как показано на рис. 10, что также нацелено на увеличение рабочего ресурса подавителя.

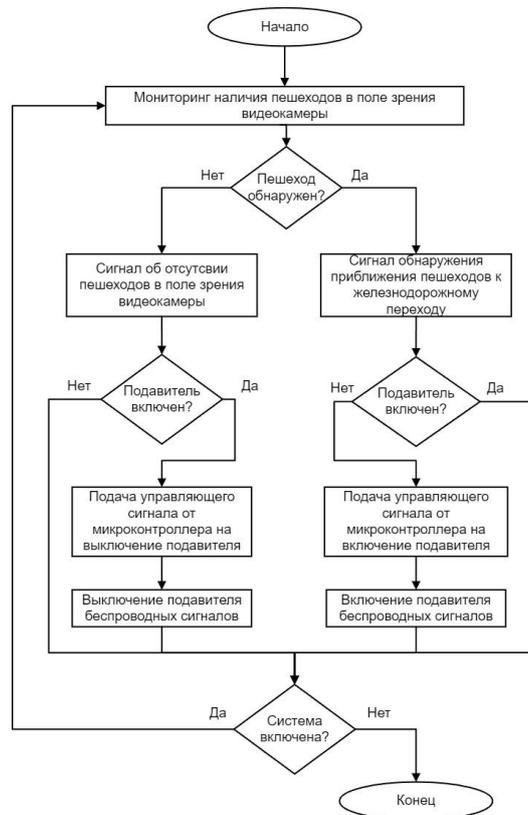


Рис. 9. Алгоритм обнаружения приближения пешеходов к железнодорожным переходам

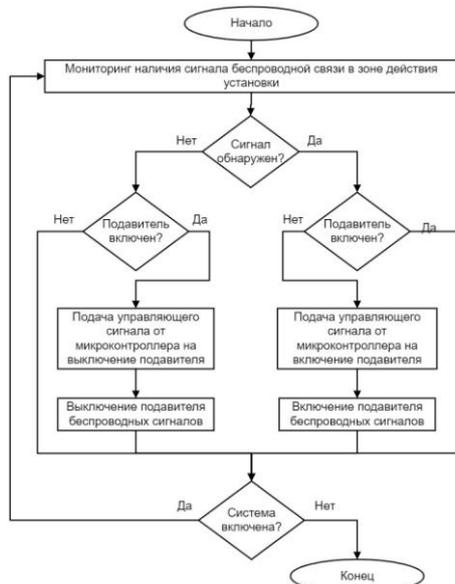


Рис. 10. Алгоритм метода избирательного подавления беспроводной связи

Дополнительно, планируется разработать метод оценки паттернов поведения пешеходов при подавлении беспроводной связи на основе нейросетей по распознаванию образов с последующей интерпретацией полученных данных. Это позволит набрать статистическую информацию поведения людей вблизи железнодорожного полотна при внезапном пропадании Bluetooth, Wi-Fi, чего не было обнаружено в открытых источниках. Алгоритм данного подхода представлен на рис. 11 [5]



Рис. 11. Алгоритм метода оценки паттернов поведения пешеходов при подавлении беспроводной связи

Моделирование. На основе общей концепции и вида системы избирательного подавления беспроводных сигналов, а также на базе структурной и функциональной схем было проведено 3D-моделирование для наглядной демонстрации внешнего вида будущей установки и компоновки всех комплектующих. Полученные 3D-модели приведены на рис. 12-13.

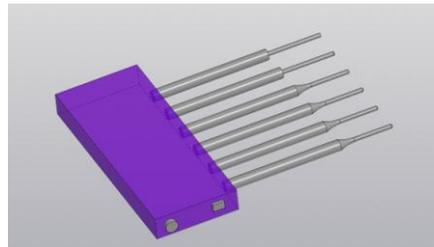


Рис. 12 3D-модель подавителя беспроводных сигналов

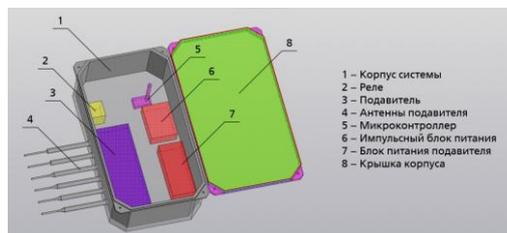


Рис. 13. 3D-модель прототипа корпуса системы избирательного подавления беспроводных сигналов

Кроме того, были составлены чертежи основных составляющих системы и некоторых компонентов с учётом доработки характеристик под требуемые параметры, как показано на рис. 14-15.

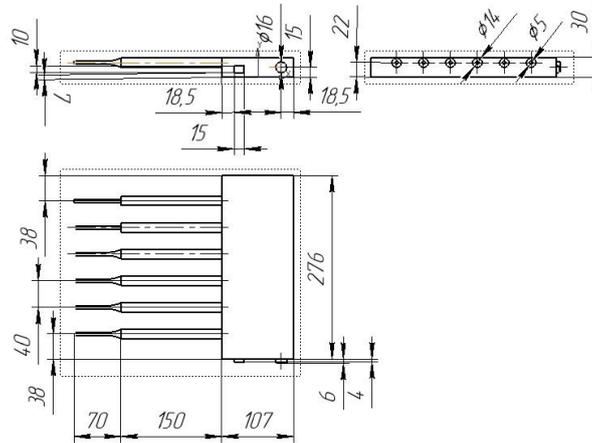


Рис. 14. Чертёж подавителя беспроводных сигналов

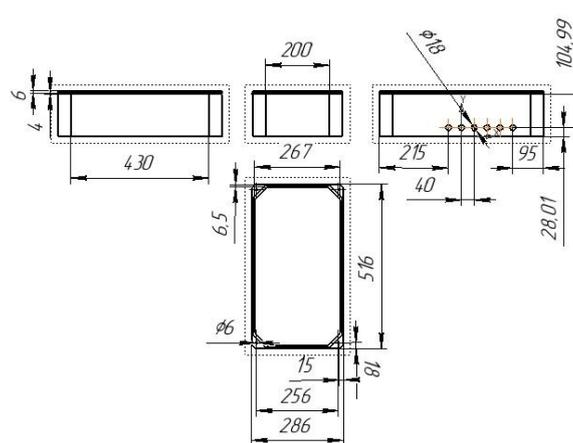


Рис. 15. Чертёж корпуса системы

На данном этапе также был разработан корпус системы из пластика. За основу был взят пластиковый щит с монтажной панелью ЩМПл Solid-5 и глухой дверью. Подобный корпус используется для сборки разнообразных электрощитов: силовых, управления, автоматики. Одной из особенностей является возможность производить монтаж аппаратуры как модульного, так и обычного исполнения.

Проведение экспериментов. Разрабатываемый продукт находится на стадии активного тестирования базовых элементов частей.

В первую очередь были проведены эксперименты подавителя беспроводных сетей с целью проверки его работоспособности и соответствия паспортным характеристикам. Задачи, которые были поставлены во время испытаний:

1. Определить дальность работы подавителя.
2. Определить частоты подавления и подавляемые протоколы.

3. Определить время с момента включения подавителя до рабочего состояния.
4. Определить количество одновременно подавляемых устройств.

В соответствии с планом экспериментов были проведены испытания и оценены функциональные возможности радиочастотного подавителя. Выявлены отклонения в характеристиках эффективного радиуса подавления, который оказался в 1.5–2 раза меньше от заявленных значений в 40 метров и составляет около 20–25 метров, как показано на рис. 16–17.

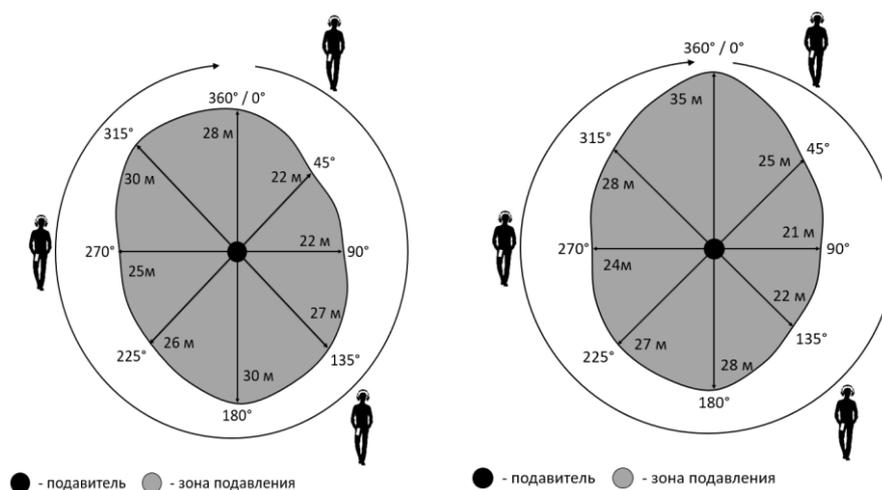


Рис. 16. Результаты экспериментов



Рис. 17. Схема зоны действия подавителя

Полученные в ходе испытаний результаты соответствуют требуемым параметрам системы, как показано в табл. 1. Также время с момента включения подавителя до рабочего состояния, количество одновременно подавляемых устройств и возможность изменять диаграмму направленности подавления удовлетворяют поставленным задачам. Устройство можно использовать для дальнейшей реализации системы [6–8].

Таблица 1

Результаты экспериментов подавителя в соответствии с требуемыми параметрами

п/п	Наименование параметра	Требуемые параметры	Полученное значение во время эксперимента	Примечание
1	Радиус подавления	не менее 20 метров	не менее 20 метров	–
2	Время с момента включения подавителя до рабочего состояния	не более 1 секунды	не более 1 секунды	–
3	Радиус подавления с изменением диаграммы направленности при использовании фольги	Есть возможность изменять диаграмму направленности подавления	17 метров	Во время данного эксперимента использовалась пищевая фольга, сложенная в 9 слоёв
4	Радиус подавления с изменением диаграммы направленности при использовании металла	Есть возможность изменять диаграмму направленности подавления	25 метров	Во время данного эксперимента использовался лист оцинкованного металла толщиной 1.5 мм
5	Количество одновременно подавляемых устройств	не менее 2 устройств	не менее 2 устройств	Во время эксперимента в поле действия подавителя находилось 2 устройства Bluetooth, на которые было успешно оказано влияние

Кроме того, были проведены эксперименты видеокамер с целью проверки их работоспособности и соответствия паспортным характеристикам. Задачи, которые были поставлены во время испытаний:

1. Определить дальность видимости камер и качество видео.
2. Определить угол обзора камер.
3. Проверить возможность камер записывать видео на съёмный носитель карту памяти MicroSD.
4. Проверить возможность камер транслировать видео в прямом эфире и записывать его в «облако».

В соответствии с планом экспериментов были проведены испытания и оценены функциональные возможности видеокамер. Радиус визуального контакта в видеопотоке с возможностью определения реакции человека на работу системы составляет не более 20 метров, как показано на рис. 18, радиус определения движения камерой в её поле зрения составляет не более 10 метров, как показано на рис. 19, угол обзора по горизонтали составляет не более 120 градусов, угол обзора по вертикали составляет не более 55 градусов, есть возможность записи видео на съёмный носитель карту памяти MicroSD, а также возможность транслировать видео в прямом эфире и записывать видео в «облако», при этом время задержки видеопотока в прямом эфире составляет не более 1 секунды [10].

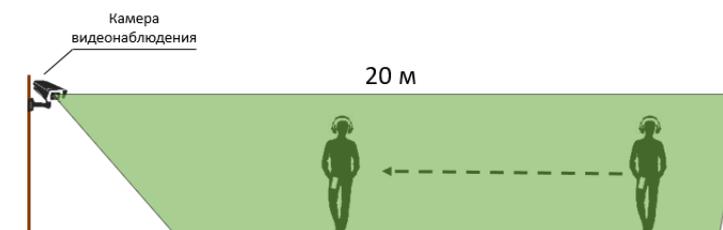


Рис. 18. Радиус визуального контакта в видеопотоке с возможностью определения реакции человека на работу системы

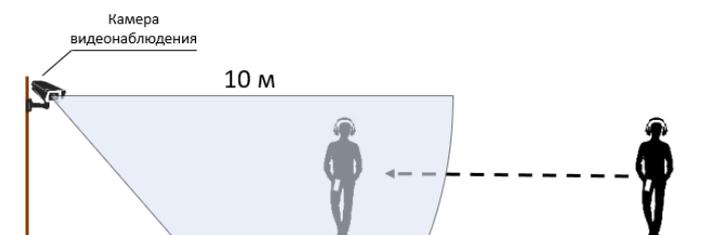


Рис. 19. Радиус определения движения человека камерой в её поле зрения

Данные результаты соответствуют требуемым параметрам системы и удовлетворяют поставленным задачам, как показано в табл. 2. Устройство можно использовать для дальнейшей реализации системы.

Таблица 2

Результаты экспериментов видеокамер в соответствии с требуемыми параметрами

п/п	Наименование параметра	Требуемые параметры	Полученное значение во время эксперимента	Примечание
1	Радиус визуального контакта в видеопотоке с возможностью определения реакции человека на работу системы	20 метров	не более 20 метров	—

Окончание табл. 2

2	Радиус определения движения камерой в её поле зрения	10 метров	не более 10 метров	–
3	Угол обзора по горизонтали	110 градусов	не более 120 градусов	–
4	Угол обзора по вертикали	50 градусов	не более 55 градусов	–
5	Возможность записи видео на съёмный носитель карту памяти MicroSD	Есть	Есть	–
6	Возможность транслировать видео в прямом эфире	Есть	Есть	–
7	Время задержки видеопотока в прямом эфире	не более 1 секунды	не более 1 секунды	–
8	Возможность записи видео в «облако»	Есть	Есть	Камеры обладают данным функционалом и имеют все необходимые настройки

Электропитание. При разработке системы на ранних этапах предполагалось использовать аккумуляторные батареи в качестве электропитания устройства.

В нашем случае устройства, которые необходимо обеспечить электропитанием от аккумулятора имеют параметры, указанные ниже.

Подавитель беспроводных сигналов:

1. Потребляемая мощность устройства: 60 Вт*ч.
2. Необходимое напряжение: 5 В.
3. Необходимая сила тока: 12А.

Из этих данных становится ясно, что для подавителя требуется 12000 мА*ч, так как для начальной проверки работоспособности системы необходимо минимум три часа автономной работы, то ёмкость аккумулятора должна составлять 36000 мА*ч.

Видеокамера:

1. Потребляемая мощность устройства: 12 Вт*ч.
2. Необходимое напряжение: 12 В.
3. Необходимая сила тока: 1А.

Проведя необходимые расчёты, можно сделать вывод, что для электропитания двух видеокамер, требуется 6000 мА*ч на три часа работы.

Таким образом, общее потребление электроэнергии составит 42000 мА*ч, с учётом саморазряда и прочих потерь энергии ёмкость аккумулятора должна составлять не менее 50000 мАч. Подобные устройства являются дорогостоящими и не могут обеспечить необходимыми параметрами зависимые устройства, поэтому было решено перейти на стационарный источник питания системы [11–21].

Вывод. Разрабатываемая система реализуется по запросу филиала ОАО «РЖД» Северо-Кавказской железной дороги, имеет социальную значимость и направлен на создание инновационной системы подавления сигналов беспроводной связи для носимой электроники на железнодорожных переходах, с целью снижения травматизма и несчастных случаев и существенного усиления существующей системы безопасности, не имеющей аналогов на отечественном рынке.

Перспективность представленного решения была высоко оценена: начальником Северо-Кавказского центра инновационного развития РЖД Концевым Д.А., главным инженером железной дороги Черномазовым А.В..

Важно отметить, что при активном взаимодействии с Северо-Кавказским центром инновационного развития филиала ОАО «РЖД» Северо-Кавказской железной дороги после представления полученных результатов было принято решение о выделении площадки для проведения полевых экспериментов в реальных условиях, в виде железнодорожного пешеходного перехода в г. Ростове-на-Дону. По результатам работы авторами статьи планируется подготовка заявок на РИД.

Потребителем разработки является ОАО «РЖД» для исключения несчастных случаев на нерегулируемых переходах из-за использования пешеходами беспроводных гарнитур, однако функционал системы не ограничен сферой железных дорог. Также разработка может быть использована при подавлении беспроводных сигналов на нерегулируемых пешеходных переходах автодорог с активным трафиком, где риск ДТП с участием пешеходов остаётся высоким из-за использования ими беспроводных гарнитур. Кроме этого, предлагаемая разработка может быть применена различными учебными заведениями для подавления беспроводной связи при проведении государственных испытаний и экзаменов, что особенно актуально из-за широкого распространения миниатюрных беспроводных гарнитур.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Губкин В.С. Заргарян Ю.А. Технологии беспроводной передачи данных в современном мире // Проблемы автоматизации. Региональное управление. Связь и акустика: Сб. трудов X Всероссийской научной конференции и молодежного научного форума в рамках мероприятий, посвященных году Науки и технологий в Российской Федерации. – Ростов-на-Дону, 2021. – С. 188-191.
2. РЖД. – URL: <https://www.rzd.ru/>.
3. Кошечкин В.И., Заргарян Ю.А. Особенности функционирования BLE в микроконтроллере ESP32 // Сб. трудов международной молодежной школы С 23 «Инженерия – XXI» (г. Новороссийск, 21-22 апреля 2022 г.) / под общ. ред. к.ф.н. доцента И.В. Чистякова. – Новороссийск: Изд-во НФ БГТУ им. В.Г. Шухова, 2022. – С. 65.
4. Zargaryan E.V., Zargaryan Y.A., Dmitrieva I.A., Sakharova O.N. and Pushnina I.V. Modeling design information systems with many criteria. Information Technologies and Engineering – APITECH - 2020 // Journal of Physics: Conference Series. – 2020. – Vol. 2085 (3). – P. 032057(1-7). – DOI: 10.1088/1742-6596/1679/3/032057.
5. Google Патенты. – URL: <https://patents.google.com/>.
6. Финаев В.И., Заргарян Ю.А., Заргарян Е.В., Соловьев В.В. Формализация групп подвижных объектов в условиях неопределённости для выбора управляющих решений // Информатизация и связь. – 2016. – № 3. – С. 56-62.
7. Безопасность в беспроводной сети Bluetooth. – URL: <https://habr.com/ru/articles/595821/>.
8. Аламир Х.С., Заргарян Е.В., Заргарян Ю.А. Модель прогнозирования транспортного потока на основе нейронных сетей для предсказания трафика на дорогах // Известия ЮФУ. Технические науки. – 2021. – № 6 (223). – С. 124-132.
9. ПАТЕНТНЫЙ ПОИСК. – URL: <https://new.fips.ru/about/vptb-otdelenie-vserossiyskaya-patentno-tekhnicheskaya-biblioteka/patentnyy-poisk.php>.
10. Яндекс.Патенты. – URL: <https://yandex.ru/patents>.
11. Технологии позиционирования. – URL: <https://merusoft.ru/tehnologii-pozicionirovaniya-vnutri-pomeshhenij-rtls/>.

12. СРЕДСТВА СОЗДАНИЯ ПОМЕХ В СЕТЯХ БЕСПРОВОДНОЙ СВЯЗИ. – URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=43072956>.
13. Глушилка Bluetooth колонок. – URL: <https://spy-soft.net/bluetooth-jammer/>.
14. Заргарян Ю.А., Кошенский В.И., Кирсанов К.О., Пресняков М.С. Применение технологии Bluetooth Low Energy для контроля перемещения людей в помещениях // Известия ЮФУ. Технические науки. – 2022. – № 3 (227). – С. 103-119.
15. Все о Bluetooth. – URL: <https://radio-secure.ru/technology/bluetooth>.
16. Аламид Хайдер Сагбан Хуссейн, Заргарян Е.В., Заргарян Ю.А. Интеллектуальная система контроля заторов на дорогах с использованием контролируемого алгоритма машинного обучения на базе адаптивного ЮТН // Известия ЮФУ. Технические науки. – 2023. – № 2 (232). – С. 175-186. – https://izv-tn.tti.sfedu.ru/index.php/izv_tn/article/view/784/972.
17. Ауси Рим Мохаммед Худхейр, Заргарян Е.В., Заргарян Ю.А. Глубокое обучение методам защиты от атак // Известия ЮФУ. Технические науки. – 2023. – № 2 (232). – С. 227-239. – https://izv-tn.tti.sfedu.ru/index.php/izv_tn/article/view/788/976.
18. Заргарян Е.В., Ганцевский А.В. Анализ существующих нейронных сетей и их применение в настоящее время // Донецкие чтения 2022: образование, наука, инновации, культура и вызовы современности: Матер. VII Международной научной конференции, посвящённой 85-летию Донецкого национального университета (Донецк, 27–28 октября 2022 г.). Т. 1: Механикоматематические, компьютерные науки, управление / под общ. ред. проф. С.В. Беспаловой. – Донецк: Изд-во ДонНУ, 2022. – С 159-161.
19. АРДУИНО РОСТОВ. – URL: <https://xn---7sbhgu4ahbanfnng.xn--p1ai/>.
20. Идентификаторы // PERCo. – URL: <https://www.perco.ru/products/identifikatory/>.
21. IBEACONRUSSIA. – URL: <https://www.ibeaconrussia.ru/gateway-beacon.html>.

REFERENCES

1. Gubkin V.S. Zargaryan Yu.A. Tekhnologii besprovodnoy peredachi dannykh v sovremennom mire [Technologies of wireless data transmission in the modern world], *Problemy avtomatizatsii. Regional'noe upravlenie. Svyaz' i akustika: Sb. trudov X Vserossiyskoy nauchnoy konferentsii i molodezhnogo nauchnogo foruma v ramkakh meropriyatiy, posvyashchennykh godu Nauki i tekhnologii v Rossiyskoy Federatsii* [Problems of automation. Regional management. Communication and acoustics. proceedings of the X All-Russian scientific conference and youth scientific forum in the framework of events dedicated to the year of Science and Technology in the Russian Federation]. Rostov-on-Don, 2021, pp. 188-191.
2. RZhd [RZD]. Available at: <https://www.rzd.ru/>.
3. Koshenskiy V.I., Zargaryan Yu.A. Osobennosti funktsionirovaniya BLE v mikrokontrollere ESP32 [Features of BLE functioning in ESP32 microcontroller], *Sb. trudov mezhdunarodnoy molodezhnoy shkoly C 23 «Inzheneriya – XXI» (g. Novorossiysk, 21-22 aprelya 2022 g.)* [Proceedings of the International Youth School C 23 "Engineering - XXI" (Novorossiysk, April 21-22, 2022)], ed. by cand. of phys. sc., associate professor I.V. Chistyakov. Novorossiysk: Izd-vo NF BGTU im. V.G. Shukhova, 2022, pp. 65.
4. Zargaryan E.V., Zargaryan Y.A., Dmitrieva I.A., Sakharova O.N. and Pushnina I.V. Modeling design information systems with many criteria. Information Technologies and Engineering – APITECH – 2020, *Journal of Physics: Conference Series*, 2020, Vol. 2085 (3), pp. 032057(1-7). DOI: 10.1088/1742-6596/1679/3/032057.
5. Google Patenty [Google Patents]. Available at: <https://patents.google.com/>.
6. Finaev V.I., Zargaryan Yu.A., Zargaryan E.V., Solov'ev V.V. Formalizatsiya grupp podvizhnykh ob"ektov v usloviyakh neopredelennosti dlya vybora upravlyayushchikh resheniy [Formalization of groups of mobile objects in conditions of uncertainty for the choice of control decisions], *Informatizatsiya i svyaz'* [Informatization and communication], 2016, No. 3, pp. 56-62.
7. Bezopasnost' v besprovodnoy seti Bluetooth [Security in Bluetooth wireless network]. Available at: <https://habr.com/ru/articles/595821/>.
8. Alamir Kh.S., Zargaryan E.V., Zargaryan Yu.A. Model' prognozirovaniya transportnogo potoka na osnove neyronnykh setey dlya predskazaniya trafika na dorogakh [Neural network based traffic flow prediction model for predicting traffic on roads], *Izvestiya YuFU. Tekhnicheskie nauki* [Izvestiya SFedU. Engineering Sciences], 2021, No. 6 (223), pp. 124-132.

9. PATENTNYY POISK [PATENT SEARCH]. Available at: <https://new.fips.ru/about/vptb-otdelenie-vserossiyskaya-patentno-tehnicheskaya-biblioteka/patentnyy-poisk.php>.
10. Yandex.Patenty [Yandex.Patents]. Available at: <https://yandex.ru/patents>.
11. Tekhnologii pozitsionirovaniya [Positioning technologies]. Available at: <https://merusoft.ru/tehnologii-pozicionirovaniya-vnutri-pomeshhenij-rtls/>.
12. SREDSTVA SOZDANIYA POMEKH V SETYAKH BESPROVODNOY SVYAZI [EMERGENCY CONSTRUCTION IN WIRELESS NETWORKS]. Available at: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=43072956>.
13. Glushilka Bluetooth kolonok [Bluetooth speaker jammer]. Available at: <https://spy-soft.net/bluetooth-jammer/>.
14. Zargaryan Yu.A., Koshenskiy V.I., Kirsanov K.O., Presnyakov M.S. Primenenie tekhnologii Bluetooth Low Energy dlya kontrolya peremeshcheniya lyudey v pomeshcheniyakh [Presnyakov.Application of Bluetooth Low Energy technology for control of people movement in premises], *Izvestiya YuFU. Tekhnicheskie nauki* [Izvestiya SFedU. Engineering Sciences], 2022, No. 3 (227), pp. 103-119.
15. Vse o Bluetooth [All about Bluetooth]. Available at: <https://radio-secure.ru/technology/bluetooth>.
16. Alamir Khayder Sagban Khusseyn, Zargaryan E.V., Zargaryan Yu.A. Intel'ktual'naya sistema kontrolya zatorov na dorogakh s ispol'zovaniem kontroliruemogo algoritma mashinnogo obucheniya na baze adaptivnogo IOTN [Intelligent traffic congestion monitoring system using a supervised machine learning algorithm based on adaptive IOTN], *Izvestiya YuFU. Tekhnicheskie nauki* [Izvestiya SFedU. Engineering Sciences], 2023, No. 2 (232), pp. 175-186. Available at: https://izv-tn.tti.sfedu.ru/index.php/izv_tn/article/view/784/972.
17. Ausi Rim Mokhammed Khudkheyr, Zargaryan E.V., Zargaryan Yu.A. Glubokoe obuchenie metodam zashchity ot atak [Deep training in attack defense techniques], *Izvestiya YuFU. Tekhnicheskie nauki* [Izvestiya SFedU. Engineering Sciences], 2023, No. 2 (232), pp. 227-239. Available at: https://izv-tn.tti.sfedu.ru/index.php/izv_tn/article/view/788/976.
18. Zargaryan E.V., Gantsievskiy A.V. Analiz sushchestvuyushchikh neyronnykh setey i ikh primeneniye v nastoyashchee vremya [Analysis of existing neural networks and their application at the present time], *Donetskie chteniya 2022: obrazovanie, nauka, innovatsii, kul'tura i vyzovy sovremennosti: Mater. VII Mezhdunarodnoy nauchnoy konferentsii, posvyashchennoy 85-letiyu Donetskogo natsional'nogo universiteta (Donetsk, 27–28 oktyabrya 2022 g.). T. 1: Mekhanikomatematicheskie, komp'yuternye nauki, upravlenie* [Donetsk Readings 2022: Education, Science, Innovation, Culture and Modern Challenges: Proceedings of the VII International Scientific Conference dedicated to the 85th anniversary of Donetsk National University (Donetsk, October 27-28, 2022). Vol. 1: Mechanicomathematics, Computer Science, Management], edited by prof. S.V. Bespalova. Donetsk: Izd-vo DonNU, 2022, pp 159-161.
19. ARDUINO ROSTOV [ARDUINO ROSTOV]. Available at: <https://xn---7sbhgu4ahbanfng.xn--p1ai/>.
20. Identifikatory [Identifiers], *PERCo*. Available at: <https://www.perco.ru/products/identifikatory/>.
21. IBEACONRUSSIA. Available at: <https://www.ibeaconrussia.ru/gateway-beacon.html>.

Статью рекомендовал к опубликованию д.т.н., профессор К.Е. Румянцев.

Заргарян Юрий Артурович – Южный федеральный университет; e-mail: yazargaryan@sfedu.ru; г. Таганрог, Россия; кафедра систем автоматического управления; к.т.н.; доцент.

Заргарян Елена Валерьевна – e-mail: evzargaryan@sfedu.ru; кафедра систем автоматического управления; к.т.н.; доцент.

Кошенский Вадим Игоревич – e-mail: koshenskii@sfedu.ru; кафедра систем автоматического управления; бакалавр 4 года обучения.

Кирсанов Кирилл Олегович – e-mail: kkirsanov@sfedu.ru; кафедра систем автоматического управления; бакалавр 4 года обучения.

Zargaryan Yuri Arturovich – Southern Federal University, e-mail: yazargaryan@sfedu.ru; Taganrog, Russia; the department of automatic control systems; cand. of eng. sc.; associate professor.

Zargaryan Elena Valerevna – e-mail: evzargaryan@sfnedu.ru; the department of automatic control systems; cand. of eng. sc.; associate professor.

Koshensky Vadim Igorevich – e-mail: koshenskii@sfnedu.ru; the department of automatic control systems; bachelor 4 years of study.

Kirsanov Kirill Olegovich – e-mail: kkirsanov@sfnedu.ru; the department of automatic control systems; bachelor 4 years of study.

УДК 007.52:629.3.05

DOI 10.18522/2311-3103-2023-5-34-48

В.А. Костюков, М.Ю. Медведев, В.Х. Пшихопов**АЛГОРИТМ ПЛАНИРОВАНИЯ ПУТИ В ДВУХМЕРНОЙ СРЕДЕ
С ПОЛИГОНАЛЬНЫМИ ПРЕПЯТСТВИЯМИ НА КЛАССЕ
КУСОЧНО-ЛОМАННЫХ ТРАЕКТОРИЙ***

Актуальной проблемой, возникающей при разработке алгоритмов автоматического планирования пути, является рост вычислительных затрат при увеличении сложности среды функционирования. Не лишены этого недостатка графовые методы планирования, в частности, метод диаграмм видимости. Он позволяет сформировать в качестве узлов графа вершины полигональных границ каждого препятствия, а ребрами графа являются все те отрезки, соединяющие эти вершины, которые не имеют пересечений с препятствиями. При увеличении количества препятствий возрастает сложность такого графа, причем этот рост очень быстрый. Поэтому наиболее важной задачей становятся приемы сокращения сложности графа видимости. В данной статье предлагается гибридный алгоритм, строящийся на методе диаграмм видимости и семействе Vig-алгоритмов. Vig-алгоритм относится к классу локальных, поскольку каждый раз имеет дело с огибанием одного препятствия, появляющегося на пути следования робота, и этот алгоритм не может предсказать заранее, какое следующее препятствие придется обходить. Предлагаемый в данной статье метод планирования траектории движения сочетает графовый алгоритм с Vig-алгоритмами, что позволяет построить специальный граф с узлами в виде характерных точек препятствий. При этом Vig-алгоритм является шагом итерационного процесса оптимизации на графе, позволяющего за конечное число шагов прийти к оптимальному решению на классе кусочно-ломанных кривых. Предлагаемый метод решает задачу глобального поиска пути на классе кусочно-линейных траекторий с полигональными препятствиями; а в отличие от классических методов диаграмм прямой видимости, существенно снижает размерность графа за счет специального выбора ограниченного количества характерных точек соответствующих препятствий. В статье проводится разработка и теоретическое обоснование предлагаемого метода. Приводятся расчетные соотношения алгоритма, обосновывается оптимальность получаемой траектории. Аналитические соотношения подтверждаются результатами численного моделирования в различных средах, заполненных полигональными препятствиями. При этом эффективность предлагаемых алгоритмов подтверждается на примерах среды, заполненной препятствиями до 70–80%. Показано, что для прокладывания пути на сценах лабиринтного типа с одним распространенным видом препятствий рассматриваемый алгоритм на 10% превосходит оптимальный алгоритм Дейкстры.

Планирование пути; сложные полигональные препятствия; поиск на графах; Vig-алгоритм; гибридный алгоритм планирования.

* Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 22-29-00337 «Разработка вероятностных методов оптимизации траекторий группы подвижных робототехнических комплексов в априори неопределенной среде», <https://rscf.ru/project/22-29-00337/> на базе АО «НКБ Робототехники и систем управления».