

РАДИОЭЛЕКТРОНИКА В УПРАВЛЕНИИ СИСТЕМАМИ АВТОМОБИЛЯ

Белкова Юлия Александровна, канд. физ.-мат. наук, доц.,
МАДИ, Россия, 125319, Москва, Ленинградский пр., 64, belkova-fiz@mail.ru

Касимов Алексей Русланович, студент,
МАДИ, Россия, 125319, Москва, Ленинградский пр., 64, leha.kasimov@mail.ru

Аннотация. В статье обсуждаются актуальные аспекты использования радиосигнала в управлении различными системами автомобиля. Приводятся классификация и основные характеристики радиоволн, принципы передачи и приема радиосигнала и проблемы, которые при этом возникают. Рассматриваются принципы действия автопилота, возможные положительные и отрицательные моменты внедрения автоматического пилотирования автомобилей в повседневную практику. Анализируются методы нарушения работы сигнализации автомобиля и использование GPS-маяков для обнаружения местоположения автомобиля. Работа выполнена на кафедре физики МАДИ в рамках подготовки студентов к научно-исследовательской и научно-практической работе.

Ключевые слова: радиоволны, автопилот, автомобильная сигнализация, кодирование, перехват радиосигнала, GPS-маяк.

RADIO ELECTRONICS IN THE RULING OF AUTOMOBILE SYSTEMS

Belkova Yulia A., associate professor,
MADI, 64, Leningradsky Prosp., Moscow, 125319, Russia, belkova-fiz@mail.ru

Kasimov Alexey R., student,
MADI, 64, Leningradsky Prosp., Moscow, 125319, Russia, leha.kasimov@mail.ru

Abstract. The article deals with the current aspects of the use of the radio signal in the ruling of various automobile systems. The classification and basic characteristics of radio waves, the principles of transmission and reception of a radio signal, and the problems that arise are given. The principles of the autopilot, the possible positive and negative aspects of the introduction of automatic piloting of cars in everyday practice are considered. The methods of disruption of the car's alarm system and the use of GPS beacons to detect the location of the car are analyzed. The work was done in the Department of Physics MADI during the preparation of students for the Scientific-research and scientific-practical works.

Keywords: radio waves, autopilot, car alarms, coding, radio interception, GPS beacon.

Введение

Радиоволны – электромагнитные волны с частотами до 3 ТГц, распространяющиеся в пространстве без искусственного волновода. С учётом классификации Международным союзом электросвязи радиоволн по диапазонам, к радиоволнам относят электромагнитные волны с частотами от 0,03 Гц до 3 ТГц, что соответствует длине волны от 10 млн. км до 0,1 мм.

Таблица 1

Основные характеристики электромагнитных волн [1]

Обозначение МСЭ	Длины волн	Название волн	Диапазон частот	Название частот	Применение
LF	10 – 1 км	Километровые	30 – 300 кГц	Низкие (НЧ)	Радиовещание, навигация
MF	1000 – 100 м	Гектометровые	300 – 3000 кГц	Средние (СЧ)	Радиовещание и радиосвязь земной волной и ионосферная
HF	100 – 10 м	Декаметровые	3 – 30 МГц	Высокие (ВЧ)	Радиовещание и радиосвязь ионосферная, загоризонтная радиолокация, рации
VHF	10 м – 1 м	Метровые	30 – 300 МГц	Очень высокие (ОВЧ)	Телевидение, радиовещание, радиосвязь тропосферная и прямой волной, рации
UHF	1000 – 100 мм	Дециметровые	300 – 3000 МГц	Ультравысокие (УВЧ)	Телевидение, радиосвязь, мобильные телефоны, спутниковая навигация.
SHF	100 – 10 мм	Сантиметровые	3 – 30 ГГц	Сверхвысокие (СВЧ)	Радиолокация, интернет, спутниковая и радиосвязь.

Передача и прием радиосигнала происходит следующим образом: на передающей стороне формируется сигнал с требуемыми характеристиками (частота и амплитуда сигнала). Далее передаваемый сигнал модулирует

более высокочастотное колебание (несущее). Таким образом, происходит извлечение полезного сигнала. Получаемый сигнал может несколько отличаться от передаваемого передатчиком (искажения вследствие помех и наводок).

В пределах прямой видимости основными факторами, негативно влияющими на качество приема электромагнитных волн, являются:

- потери в свободном пространстве и наличие отражающих объектов;
- эффект Доплера;
- шумы.

Потери в свободном пространстве

Потери в свободном пространстве вызваны тем, что с ростом расстояния от передающей антенны до приемной антенны излученная энергия распределяется по все большей площади, и на приемную антенну приходится лишь малая часть излученной энергии. В наиболее простом случае, когда передающая антенна является всенаправленной (изотропное излучение), энергия излучения как бы "размазывается" по сферической поверхности. С увеличением расстояния (радиуса сферы) площадь поверхности сферы увеличивается, а плотность электромагнитной энергии, приходящаяся на единицу поверхности, уменьшается. Такие потери определяются по формуле:

$$L = \frac{P_{\text{и}}}{P_{\text{пр}}} = \frac{(4\pi d)^2}{\lambda^2},$$

где $P_{\text{и}}$, $P_{\text{пр}}$ – мощности излучения и приема соответственно; d – расстояние между передающей и приемной антеннами. С помощью направленных антенн (например, параболических) удается сконцентрировать излучаемую энергию в заданном направлении, тем самым увеличивается доля энергии в приемной антенне. С ростом частоты и уменьшением коэффициента усиления антенн затухание увеличивается.

Влияние эффекта Доплера

Эффект Доплера проявляется для мобильного приемника в том, что частота принимаемых колебаний будет увеличиваться, если приемник движется в сторону передатчика, и уменьшается, если приемник удаляется. Величина сдвига частоты $f_{\text{д}}$ принимаемого сигнала зависит от скорости движения V , частоты сигнала f_0 и угла α направления на передатчик: $f_{\text{д}} \propto f_0 V \cos \alpha$.

Эффект изменения частоты приводит к паразитной девиации частоты, называемой доплеровским рассеянием. Из-за доплеровского рассеяния в точке приема спектр несущей частоты окажется "размазанным" в полосе $\Delta f = f_0 \pm f_{\text{д}}$, и значение несущей частоты станет нестабильным во времени.

Влияние шумов

В электрических цепях тепловое движение молекул и атомов вызывает разброс скоростей движущихся носителей зарядов (например, электронов). Поэтому электрический ток всегда имеет помимо детерминированной составляющей шумовую составляющую. Тепловой шум имеет равномерный спектр в весьма широком диапазоне частот, т.е. его энергия равномерно распределена по всему диапазону частот, поэтому его еще называют «белым шумом». «Белый шум» аддитивно смешивается с полезным сигналом, поэтому на выходе линейного усилителя шум и сигнал усиливаются одинаково. При этом к входному шуму добавляются собственные шумы усилителя.

В радиосвязи, как и в проводной, могут возникать *перекрестные помехи*, если на частотах приема будут работать "чужие" передатчики. В этом случае их сигналы не могут быть отфильтрованы входными цепями приемника, и принимаемый полезный сигнал окажется также искаженным. Если уровень паразитного сигнала окажется соизмерим или будет больше

полезного, то прием может оказаться невозможным. Для устранения таких событий для каждой системы радиосвязи выделяются свои полосы частот, не пересекающиеся с частотами других систем, и выдается лицензия на выделяемые частоты. При этом уровень возможных перекрестных помех обычно не превышает уровень теплового шума. Однако исторически сложилось, что во многих странах (в том числе и в России) на многих диапазонах частот могут работать организации и службы, развернувшие свое оборудование значительно раньше. В этом случае перекрестные помехи могут стать доминирующими и их необходимо учитывать при проектировании систем связи, в том числе управляющих системами автомобиля [2].

Автоматическое управление автомобилем

Беспилотный автомобиль – транспортное средство, оборудованное системой автоматического управления, которое может передвигаться без участия человека.

ПРИМЕРНАЯ СХЕМА УСТРОЙСТВА БЕСПИЛОТНОГО АВТОМОБИЛЯ



Рис. 1. Примерная схема устройства беспилотного автомобиля

Автопилот опирается на четыре элемента отслеживания дороги и ситуации на ней. **GPS-трекер** следит за правильным выполнением работ других устройств для избежания некорректных действий. **Радар** отслеживает другие машины вокруг транспорта, причем ему не создают помех погодные условия (ливень, туман и т.п.). К тому же радар способен отследить различные объекты сквозь препятствия, например, находящиеся за другой машиной. **Ультразвуковые сенсоры** также предназначены для фиксации объектов вокруг машины, и к тому же они способны определить плотность данных объектов. На данный момент машины Tesla оснащены 12 такими же датчиками по всему периметру машины. **Камеры**, в количестве 8 штук, размещенные также по периметру машины, позволяют

компьютеру отслеживать все, что происходит вокруг машины на 360°. Фронтальная камера определяет разметку на дороге и дорожные знаки [3]. Центральный компьютер анализирует все полученные данные и на их основе совершает то или иное действие.

Использование автопилота имеет как положительную, так и отрицательную стороны [4,5]. Рассмотрим сначала *пользу*, которую они могут принести:

- Снижение влияния человеческого фактора на ДТП. Беспилотные автомобили не способны попасть в аварию по вине водителя, так как их поведением на дороге управляет система датчиков, сенсоров, камер и умной электроники.

- Снижение влияния человеческого фактора на образование пробок и заторов. Кроме того, снижение количества аварий уменьшит и количество заторов.

- Частичное решение проблем с парковкой. По достижении пункта назначения пассажир может покинуть салон, и машина будет колесить по округе в ожидании возвращения хозяина или появления свободного места. Правда, при этом возрастает расход бензина.

- Новые возможности в дизайне автомобиля.

- Теперь рассмотрим *минусы* беспилотных автомобилей:

- Высокая стоимость. Дороговизна. Совершенно очевидно, что напичканные электроникой машины, способные самостоятельно передвигаться без водителя будут стоить намного дороже классических автомобилей.

- Возможные недочеты при разработке электроники и программного обеспечения, опасность ухудшения качества при переходе к массовому производству. Большая зависимость автомобиля от программного обеспечения ставит его в большую зависимость и от хакеров.

С полностью автономными машинами вероятность их удаленного угона или перепрограммирования станет реальностью.

– Риск нулевой приватности. Беспилотные машины всегда соединены со службами, которые будут корректировать их поведение на дороге и, главное, отслеживать их текущее место дислокации. Ярким примером является корпорация Google, которая контролирует каждую машину из своего парка беспилотников.

– Лишение работы профессиональных водителей.

Таким образом, использование автопилота при управлении автомобилем, которое войдет в нашу жизнь уже в ближайшем будущем, влечет за собой целый ряд технических, социальных, юридических проблем, решением которых необходимо заниматься заранее.

Автомобильная сигнализация

Схемы устройства, электронные коды блока управления – самая секретная и охраняемая производителями часть автомобильной сигнализации (см. рис. 2). Миниатюрный блок управления при монтаже сигнализации рекомендуется маскировать в незаметном месте салона или подкапотного пространства.

приемопередатчик радиосигналов от основного блока управления и вторая часть генератора динамического кодирования. Основной задачей брелка ДУ становится недоступное посторонним включение и выключение сигнализации. Основные усовершенствования этой функции состоят в уменьшении расстояния срабатывания и затруднении перехвата кодированного сигнала.

Электронное отключение сигнализации (кодграббер)

Все «общение» между радиобрелоком и центральным блоком сигнализации в простейшем случае – это связь односторонняя: брелок формирует зашифрованную команду, сигнализация, декодируя ее и признав правильной (т.е. после применения алгоритма дешифровки получен осмысленный набор данных), безусловно исполняет ее.

Кодграббер – это устройство, которое перехватывает кодовую посылку из эфира и, пользуясь известной уязвимостью протокола шифрования, извлекает его ключ. После этого любая команда, сформированная кодграббером, будет восприниматься сигнализацией как валидная: что бы ни утверждала реклама о «динамических ключах», «усложненном шифровании», любой односторонний протокол надежен только первое время после выхода на рынок, пока его не взломают. После этого появляется новое поколение так называемых мануфактурных кодграбберов – то есть не самодельных устройств, а выпускаемых серийно, причем чаще всего путем перепрограммирования штатного радиобрелока от той же сигнализации [8].

Способы противодействия

В настоящее время протокол шифрования AES с длиной ключа 128-256 бит считается неререверсируемым, то есть он не имеет открытых уязвимостей. Именно поэтому он наиболее распространен в криптографии, применяемой в том числе и в банковских транзакциях – а там цена открытой уязвимости может исчисляться миллиардами. В сигнализациях

же он начал применяться лишь недавно, с появлением высокопроизводительных микроконтроллеров с низким потреблением энергии, способных выполнять шифровку-дешифровку посылок за приемлемое время. Единственный способ найти ключ шифрования AES по принятой посылке – это метод прямого перебора, но в среднем для этого придется перебрать такое число комбинаций, что даже на мощном компьютере это займет несколько суток аппаратного времени. И затраты времени окажутся бесполезными: диалоговый код позволяет в конце каждого сеанса переходить на новый случайный ключ шифрования, и нажатие любой кнопки на брелоке хозяином делает попытки подбора кода к старым посылкам бесполезными.

Помимо подобных «интеллектуальных» способов противодействия кодграбберам, существует и еще несколько решений. Из них самое простое – это смена частотного диапазона канала связи – у современных сигнализаций вместо общепринятого канала 433 МГц могут использоваться частоты до 2,4 ГГц. Набирают популярность системы, где от брелоков дальней связи отказались вообще – для связи используется канал сотовой связи или носимые владельцем радиометки, которые нельзя считать на удалении [9].

Использование ретранслятора радиосигнала

Принцип работы ретранслятора довольно прост: нужно перехватить сигнал от автомобиля, передать его на брелок, и от брелка к автомобилю. Если брелок-метка удаляется на определенное расстояние, то автомобиль уже «не видит» его и перестает посылать сигналы. Ретранслятор же усиливает радиосигнал, что позволяет увеличить расстояние, на котором «общаются» автомобиль и метка, с 1-2 до 100-200 метров.

Схема работы ретранслятора выглядит следующим образом [10]:

– Водитель (Владелец автомобиля) удаляется от транспортного средства схема, думая, что а/м встал в режим охраны.

- Угонщик 1 отправляется вслед за Владельцем с Ретранслятором 1 (находясь от него на расстоянии 1-2 метров).
- Угонщик 2 приближается к автомобилю с Ретранслятором 2 (на расстоянии 1-2 м).
- Автомобиль (блок иммобилайзера) посылает сигнал-запрос.
- Ретранслятор 2 перехватывает сигнал от автомобиля и передает на Ретранслятор 1 (расстояние до 200 метров).
- Ретранслятор 1 передает полученный сигнал на брелок-метку Владельца.
- Брелок-метка Владельца отвечает на запрос и посылает сигнал-ответ.
- Ретранслятор 1 перехватывает сигнал и передает на Ретранслятор 2 (расстояние до 200 метров).
- Ретранслятор 2 передает полученный сигнал на Автомобиль (блок иммобилайзера).
- Автомобиль принимает полученный сигнал и не становится в режим охраны. Он будет «видеть» устройство угонщика, который находится рядом, как «родной» брелок-метку, и, соответственно, будет открыт.

Стоимость ретрансляторов зависит от количества встроенных модулей, т.е. от того, какое количество марок и моделей можно с их помощью открыть, и варьируется от 350 000 до 8 000 000 руб. Популярным устройством для ретрансляции радиосигнала у угонщиков является система «Волна».

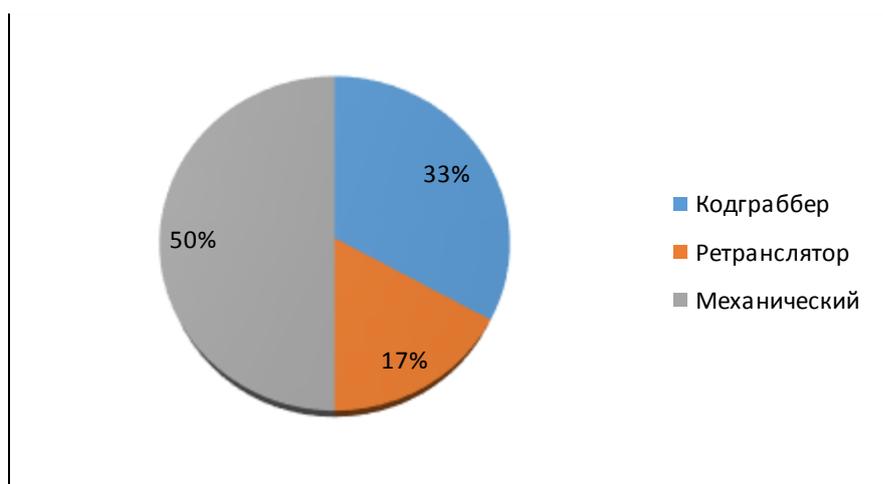


Рис. 3. Процентное соотношение способов угона автомобилей

В ходе проведенного опроса жителей г. Новомосковска и Москвы было установлено, что процент угонов автомобилей механическим (самый простой и дешевый) и электронным (кодграббер и ретранслятор) способами равны. Статистика свидетельствует о необходимости дальнейшего развития систем безопасности, а также средств обнаружения угнанного автомобиля.

Маячки слежения

Маячки слежения (**GPS-маяки**) – это небольшие автономные электронные устройства, которые выполняют следующие функции: через заданные интервалы времени принимают сигналы от спутника для определения своих координат; посылают ответные сигналы в систему наблюдения или напрямую на телефон владельца; передают полученные данные о координатах с помощью GSM-модуля на сервер обслуживающей компании. В перерыве между приемом/передачей сигналов маячок переходит в спящий режим. Это не только позволяет на порядок продлить время работы батареи, но и усложняет задачу обнаружения маячка при помощи сканеров радиозэфира. Владелец маячка может получить данные через личный кабинет на сайте обслуживающей компании, а также в SMS-уведомлениях с указанием местоположения маяка. Оплата услуг осуществляется по тому же принципу, что и в мобильной связи: каждый

маячок снабжен сим-картой, и по ее номеру можно перечислять абонентские взносы.

Возникает вопрос о выборе системы спутникового слежения. Отечественная ГЛОНАСС и американская GPS различаются по зонам покрытия и количеству спутников. Кроме того, ГЛОНАСС более чувствительна к рельефу местности, а GPS — к атмосферной нестабильности. ГЛОНАСС-маячки выпускаются в основном для профессионального применения в российских госструктурах. GPS-маячки представлены на российском рынке преимущественно устаревшими моделями известных производителей. Современные маячки для массового рынка работают с обеими системами, что повышает точность определения координат и улучшает чувствительность в городских условиях, где есть масса препятствий для прохождения сигнала. Однако устройство должно быть правильно установлено, иначе даже две системы в совокупности не дадут корректных результатов.

Покупка GPS-маяка должна осуществляться только в тех торговых точках, которые работают в соответствии с российскими законами и предоставляют полную информацию о предлагаемых устройствах. Если устройства имеют маскировку под бытовые предметы и магнитное крепление, то такая техника классифицируется российским законодательством как шпионская, и ее использование может повлечь уголовную ответственность.

При установке маячка необходимо обращать внимание на следующие параметры:

– **Емкость батареи.** От нее будет зависеть длительность автономной работы устройства. Качественное устройство – при условии выхода на связь один раз в сутки – работает без замены батарей или подзарядки аккумулятора как минимум 2–3 года.

–**Точность определения местоположения.** Плюс-минус 5 метров – самая низкая точность, которую должны обеспечивать маячки.

–**Устойчивость сигнала к помехам.** Современные модели дают устойчивый сигнал из любого места автомобиля. Однако при размещении в моторном отсеке велика вероятность перегрева устройства.

– **Тип корпуса.** При внешнем размещении корпус маячка должен быть герметичным, чтобы не подвергаться негативному воздействию грязи и влаги. Внутри автомобиля допустим негерметичный корпус.

–**Режим передачи данных.** Онлайн или по окончании поездки. В первом случае в составе устройства будет GSM-модуль, во втором – данные необходимо будет «слить» с носителя на компьютер вручную.

–**Способ крепления.** В салоне маячок можно просто куда-нибудь спрятать, для крепления можно использовать клеящий скотч.

–**Наличие дополнительных функций.** Это могут быть информирование о начале эвакуации, начале движения, аварии, датчик удара, дистанционная блокировка двигателя, передача с сигнала тревоги от сигнализации.

Выводы

Увеличение числа радиоэлектронных устройств, используемых в управлении системами автомобиля, в настоящее время является объективной реальностью. Технические проблемы передачи/приема/перехвата радиосигнала, возникающие при использовании автомобильной сигнализации и GPS-маяков, в последствии могут обостриться при увеличении числа автомобилей, работающих на автопилоте.

Кроме развития систем технической безопасности потребуются постоянное совершенствование программного обеспечения (защита от хакеров), чтобы минимизировать вероятность удаленного угона или перепрограммирования автомобиля с автопилотом.

Список литературы

1. URL: <https://ru.wikipedia.org>
2. URL: <https://siblec.ru/telekommunikatsii/osnovy-teorii-mobilnoj-i-besprovodnoj-svyazi/2-teoreticheskie-osnovy-peredachi-sigalov-v-besprovodnykh-sistemakh-wimax/2-1-peredacha-sigala-v-predelekh-priamoj-vidimosti>
3. URL: <http://avtocity365.ru/>
4. URL: <https://versia.ru>
5. URL: <https://plusminusi.ru>
6. URL: <https://www.redbull.com>
7. URL: <https://amsrus.ru>
8. URL: <https://it-mentor.net>
9. URL: <https://studfile.net>
10. URL: <https://www.newstube.ru>

Рецензент: А.Ф. Смык, д-р физ.-мат. наук, проф., МАДИ.