

ОБЗОР СТАНДАРТОВ БЕСПРОВОДНОЙ СВЯЗИ ДЛЯ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫХ ТРАНСПОРТНЫХ СИСТЕМ

Олехнович Е.В., магистрант гр. 945341

Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники
г. Минск, Республика Беларусь

Козел В.М. – канд. техн. наук, доцент

Аннотация. Данная статья носит обзорный характер беспроводных технологий, используемых в интеллектуальных транспортных системах. Таким образом, цели этой статьи заключаются в классификации беспроводных технологий на основе их диапазона передачи и дальности действия

Ключевые слова. Интеллектуальная транспортная система, автономное транспортное средство, беспроводные системы, Bluetooth, ZigBee, UWB, Wi-Fi, DSRC, C-V2X, 5G-NR.

Технологии облегчают работу человека, повышают производительность и ведут к улучшению качества жизни. Технологические разработки и автоматизация транспортных систем приведут к повышению безопасности движения, где традиционная транспортная система становится все более неорганизованной и неэффективной. Поэтому ранее была предложена концепция развития интеллектуальных транспортных систем (ИТС).

Интеллектуальные транспортные системы (ИТС) - это системная интеграция современных информационных и коммуникационных технологий и средств автоматизации с транспортной инфраструктурой, транспортными средствами и пользователями, ориентированная на повышение безопасности и эффективности транспортного процесса, комфортности для водителей и пользователей транспорта. [1]

На рисунке 1 показаны три основные области применения системы ИТС.

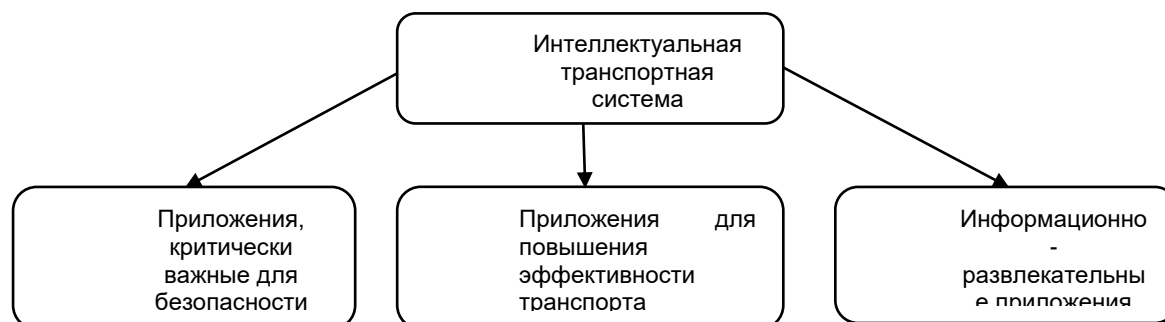


Рисунок 1 – Основные области применения ИТС

Основная задача приложения для повышения транспортной эффективности включает в себя расчёт оптимальной скорости и маршрута для перемещения транспортного средства к месту назначения с учётом информации о дорожном движении [2]. Приложения, критически важные для безопасности, используются для передачи управляющих сигналов по изменению скорости, эффективности, безопасности и надёжности. Информационно-развлекательные приложения связаны с совместным предоставлением локальных услуг, таких как определение местоположения заправочных станций, гостиниц и т.д.

Основная цель разработки беспилотных/автономных транспортных средств заключается в том, чтобы сделать вождение более безопасным и надёжным, а также уменьшить заторы. Для этого необходимо, чтобы эти транспортные средства поддерживали надёжную связь с другими транспортными средствами и окружающей инфраструктурой. Автономное транспортное средство может взаимодействовать с другими транспортными средствами и сетевой инфраструктурой с помощью различных беспроводных технологий. Беспроводные технологии, используемые в ИТС, могут быть дифференцированы с точки зрения дальности связи.

Технологии дальнего радиуса действия позволяют передавать данные, находясь на расстоянии нескольких километров друг от друга; примерами являются коммуникации C-V2X и 5G-NR. Коммуникации средней дальности, использующие беспроводную локальную сеть (WLAN) или DSRC, могут обеспечить покрытие в радиусе десятков или сотен метров. Технологии связи малого радиуса действия включают Bluetooth, UWB и ZigBee.

Технология Bluetooth, основанная на протоколе IEEE 802.15.1, может быть использована в качестве технологии связи малого радиуса действия в автомобильной сети [3]. Она работает в диапазоне 2,4 ГГц и может обеспечивать скорость передачи данных до 1-4 Мбит/с с переменным радиусом действия. Дальность действия Bluetooth варьируется в зависимости от условий распространения, чувствительности и коэффициента усиления передающей и приёмной антенн [4]. Wi-Fi и Bluetooth используют одну и ту же полосу частот, поэтому, чтобы избежать интерференции, в Bluetooth используется частотно-скачкообразный спектр (FHSS).

Технология ZigBee была разработана для удовлетворения потребности в недорогих и маломощных беспроводных сетях Интернета вещей (IoT). Поддерживаемый диапазон связи составляет до 100 м при скорости передачи данных около 250 кбит/с [5]. Он также признан IEEE 802.15.4 для низкоскоростных беспроводных персональных сетей (LRWPAN) и использует различные частотные диапазоны (868 МГц, 902-968 МГц и 2,4 ГГц). В ZigBee для модуляции BPSK или OQPSK.

UWB рассматривается как технология беспроводной связи малой дальности, использующая короткие импульсы в полосе частот 3,1-10,6 ГГц [6]. Используя UWB, устройства могут работать при очень низкой мощности, а также поддерживать множество пользователей со скоростью передачи данных более 480 Мбит/с.

Сравнение технологий связи малого радиуса действия приведено в таблице 1.

Таблица 1 – Сравнение технологий связи малого радиуса действия

| Параметр | Bluetooth | BLE | ZigBee | UWB |
|----------------------------|-----------------|-----------------|--------------------------|-------------------|
| Стандарт | IEEE 802.15.1 | IEEE 802.15.1 | IEEE 802.15.4 | IEEE 802.15.3 |
| Частотный диапазон | 2.402–2.481 ГГц | 2.402–2.481 ГГц | 868/902–968 МГц, 2.4 ГГц | 3.1–10.6 ГГц |
| Ширина полосы | 1 | 2 | 0.3/0.6 МГц, 2 МГц | 500 МГц – 7.5 МГц |
| Скорость | 1–3 Мбит/с | 1 Мбит/с | 20–250 кбит/с | 480 Мбит/с |
| Дальность (м) | 10 | 50 | 75–100 | 75 |
| Задержка (мс) | 100 | 6 | 30 | 0.1 |
| Модуляция | GFSK | GFSK | BPSK, O-QPSK | BPSK-QPSK |
| Степень помехоустойчивости | 16-bit CRC | 24-bit CRC | 16-bit CRC | 32-bit CRC |

DSRC - это стандарт, специально предложенный для надёжной связи между транспортными средствами и сетевой инфраструктурой. WAVE/DSRC является модифицированной версией технологии Wi-Fi (IEEE 802.11), и набор стандартов, таких как IEEE 802.11p и IEEE 1609.x. Помех между DSRC и Wi-Fi можно избежать, установив частотный спектр в DSRC намного выше, чем спектр Wi-Fi. Разница между Wi-Fi и DSRC приведена в таблице 2.

Таблица 2 – Сравнение технологий связи средней дальности

| Параметр | Wi-Fi | DSRC |
|-----------------------------------|--------------|--------------|
| Стандарт | IEEE 802.11a | IEEE 802.11p |
| Ширина канала | 20 | 10 |
| Модуляция | OFDM | OFDM |
| Пропускная способность | до 54 | до 27 |
| Тип модуляции | до 64QAM | до 64QAM |
| Длительность символа (мкс) | 4 | 8 |
| Защитный интервал (мкс) | 0.8 | 1.6 |
| Размер БПФ | 64 | 64 |
| БПФ период (мкс.) | 3.2 | 6.4 |
| Длительность заголовка (мкс) | 16 | 32 |
| Частотный разнос поднесущих (МГц) | 0.3125 | 0.15625 |
| Частотный диапазон | 5 | 5.9 |
| Задержка (мс) | 50 | 100 |
| Дальность (м) | 100 | 300 |

Транспортные средства обмениваются данными с окружающей средой через сотовую сеть [7]. Технология C-V2X была представлена в релизе 14 3GPP, а в релизе 15 3GPP она получила дальнейшее развитие, чтобы соответствовать критериям связи 5G.

Целью стандарта 5G-NR, разработанного 3GPP, является обеспечение более высокой скорости передачи данных, снижение задержек и обеспечение связи между множеством устройств.

Сравнение двух технологий приведено в таблице 3.

Таблица 3 – Сравнение технологий связи дальнего радиуса действия

| Параметр | C-V2X | 5G-NR V2X |
|-----------------------------------|-------------------|-------------------------------------------------|
| Разнос поднесущих (кГц) | 15 | до 240 |
| Объединение несущих | до 32 | до 16 |
| Ширина канала (МГц) | 20 | 400 |
| Задержка (мс) | <10 | <1 |
| Надёжность | 95–99% | 99.9–99.999% |
| Канальное кодирование | Turbo | LDPC, Polar |
| Логическое расслоение сети | да | нет |
| Метод доступа | SC-FDMA | OFDM |
| Способ уплотнения канала | FDM | TDM |
| Тип модуляции | 16 или 64QAM | 256 QAM |
| Тип связи | Широковещательный | Широковещательный, многоадресный и одноадресный |
| Безопасность и конфиденциальность | Базовая | Улучшенная |
| Точность позиционирования (м) | >1 | 0.1 |
| Частотный диапазон | 800/1800 МГц | 700 МГц /3.6 и 26 МГц МГц |
| Дальность | 100 м до >5 км | 50 м до >5 км |

Заключение

Таким образом, автономное транспортное средство может взаимодействовать с другими транспортными средствами и сетевой инфраструктурой с помощью различных беспроводных технологий. В статье эти технологии дифференцируются в зависимости от дальности действия. В результате Bluetooth, BLE, ZigBee и UWB сгруппированы как технологии ближнего действия, в то время как DSRC и Wi-Fi считаются технологиями среднего радиуса действия. Аналогичным образом, C-V2X и 5G-NR определены как технологии дальнего действия

Список использованных источников:

1. Интеллектуальные транспортные системы Справочник по системам сухопутной подвижной связи (включая беспроводной доступ) Том 4 Международный союз электросвязи. Бюро радиосвязи, 2006.
2. D'Orey, P.M.; Ferreira, M. ITS for Sustainable Mobility: A Survey on Applications and Impact Assessment Tools. *IEEE Trans. Intell. Transp. Syst.* 2014, 15, 477–493.
3. Lin, J.; Talty, T.; Tonguz, O.K. On the potential of bluetooth low energy technology for vehicular applications. *IEEE Commun. Mag.* 2015, 53, 267–275.
4. De Cerio, D.P.-D.; Valenzuela, J.L. Provisioning Vehicular Services and Communications Based on a Bluetooth Sensor Network Deployment. *Sensors* 2015, 15, 12765–12781.
5. Wheeler, A. Commercial Applications of Wireless Sensor Networks Using ZigBee. *IEEE Commun. Mag.* 2007, 45, 70–77.
6. Ahmed, Q.Z.; Park, K.; Alouini, M.S. Ultrawide Bandwidth Receiver Based on a Multivariate Generalized Gaussian Distribution. *IEEE Trans. Wirel. Commun.* 2015, 14, 1800–1810.
7. Molina-Masegosa, R.; Gozalvez, J. LTE-V for Sidelink 5G V2X Vehicular Communications: A New 5G Technology for Short-Range Vehicle-to-Everything Communications. *IEEE Veh. Technol. Mag.* 2017, 12, 30–39.