

# Функциональная архитектура сетевой инфраструктуры беспилотного автотранспорта

А. А. Задорожня<sup>1</sup>, Р. В. Киричек<sup>2</sup>

Санкт-Петербургский государственный университет телекоммуникаций

им. проф. М. А. Бонч-Бруевича

<sup>1</sup>alina27812@mail.ru, <sup>2</sup>kiricheck.sut@mail.ru

**Аннотация.** Технологии реализации беспилотного автотранспорта стремительно развиваются и в ближайшем будущем станут неотъемлемой частью человеческой жизни. Но для удобства использования таких технологий необходимо разработать новую структуру взаимодействия беспилотного автомобиля с сетевой инфраструктурой на основе первого поколения беспилотного автотранспорта. Это так называемая «концепция второго поколения беспилотного автотранспорта», которая сейчас активно изучается, в связи с чем перед научным сообществом стоит ряд задач, среди которых создание архитектуры и разработка требований построения сетевой инфраструктуры беспилотного автотранспорта.

**Ключевые слова:** беспилотный автомобиль; сетевая инфраструктура; датчики; лидары; сканеры радаров

## I. ВВЕДЕНИЕ

Большие российские и зарубежные компании, такие как Yandex, Tesla, КАМАЗ, General Motors [1, 2] активно занимаются разработкой беспилотных автомобилей и тестируют их на полигонах. Были эксперименты, когда тестирование таких машин приводило к несчастным случаям, например, весной 2018 года в США велосипедист неожиданно выехал на дорогу и камера, расположенная на беспилотном транспортном средстве, не успела своевременно распознать движущийся объект - автомобиль не успел затормозить [3]. В результате таких экспериментов, многие относят беспилотный транспорт к небезопасной инфраструктуре, способной нанести вред здоровью человека. Сегодня актуален вопрос о необходимости дублирования функций принятия решений беспилотного автотранспорта на сторонние средства.

## II. АРХИТЕКТУРА СЕТЕВОЙ ИНФРАСТРУКТУРЫ

Можно рассмотреть несколько вариантов дублирования таких функций.

Всем известно, что в военных структурах существуют системы дублирования на каждом устройстве (резервные устройства). Например, в космосе тройные дублируются команды. Исходя из примеров таких систем, изначально было предложено поставить второй бортовой компьютер в автомобиль, который также дублировал действия первого и «подхватывал» действия в случае отказа работы первого. Но фактически этот вариант не решает вопрос с точки зрения обработки данных.

Поэтому была предложена концепция сетевой поддержки, которая предполагает расположение вдоль автодорог микрооблаков, которые будут принимать данные от автомобиля (данные со сканеров радаров, лидаров и датчиков), обрабатывать и «подтягивать» информацию о том, что происходит вокруг, и передавать в виде управляющих команд на автомобиль. То есть, эти микрооблака, фактически, есть сетевая поддержка для беспилотного транспорта.

Эта, так называемая, концепция второго поколения беспилотного автотранспорта сейчас активно развивается. На данном этапе развития этой концепции придумана эталонная архитектура. В современном мире есть примеры её внедрения, например, концерны General Motors и Tesla перешли на второе поколение.

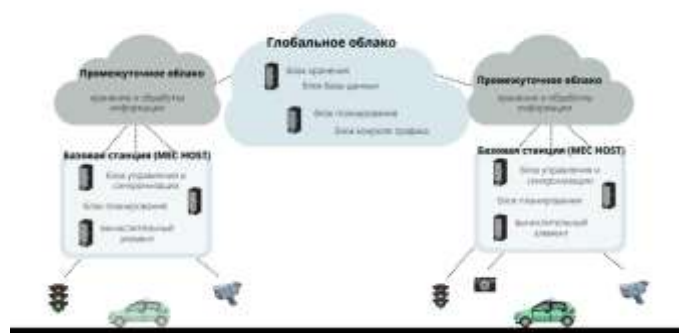


Рис. 1. Архитектура взаимодействия беспилотного автомобиля и сетевой инфраструктуры

Второе поколение беспилотного автотранспорта заключается во взаимодействии беспилотного автомобиля и сетевой инфраструктурой (рис. 1).

Использование высокоскоростных каналов передачи – необходимое условие, потому что по расчетам компании Huawei круговая сетевая задержка для беспилотного автотранспорта должна составлять 20 мс [4]. За это время данные должны считаться с автомобиля, должны быть доставлены в облако, обработаны в облаке и вернуться обратно в виде управляющей команды.

Также возникает интересная расчетная задача: а через какое расстояние должны располагаться эти микрооблака и придорожные базовые станции (БС), которые будут принимать радиосигнал?

Можно сформулировать задачи на 2021–2024 гг.: создание наиболее реальной к применению в условиях дорожно-транспортной инфраструктуры архитектуры системы беспилотного автотранспорта и разработка требований построения сетевой инфраструктуры беспилотных автомобилей.

Как уже упоминалось ранее, Международный союз электросвязи (МСЭ) представил эталонную модель сети: вдоль дороги расположены придорожные БС, есть микрооблака, есть миниоблака, есть высокоуровневые облака, которые собирают данные о том, что происходит вокруг [5]. Например, если рядом с беспилотным автотранспортом движется человек с телефоном, автомобиль или велосипедист, то беспилотное автотранспортное средство будет его «видеть», получив данные из этого облака.

Например, по дороге едет автомобиль, вдоль которой стоят базовые станции. Автомобиль связывается с базовой станцией для того, чтобы рассчитать траекторию маршрута в соответствии с дорожными условиями. В случае, если на дороге возникает препятствие, автомобиль должен либо остановиться, либо объехать его, все вычисления делаются в придорожном блоке.

### III. УРОВНИ СЕТЕВОЙ ИНФРАСТРУКТУРЫ

Сетевая инфраструктура включает в себя 3 основных уровня:

- первый – базовая станция (MEC Host). Она состоит из вычислительного элемента, блока планирования, блока управления и блока синхронизации данных. Базовая станция собирает информацию с транспортных средств, светофоров, камер, размещенных на обочине дороги, и радаров, обрабатывает эти данные и строит маршрут для автотранспорта с учетом обстановки на дорогах по пути следования;
- второй – промежуточное облако хранения и обработки информации;
- третий – глобальное облако, которое состоит из блока хранения, блока планирования, базы данных карт, и блока контроля трафика.

Автомобиль оснащен средствами сбора информации (например, камерой сбора данных, радаром, лидаром). После начала движения автотранспорта данные об окружающей обстановке фиксируются и отправляются на ближайшую базовую станцию, которая расположена вдоль дорог. Данные, полученные из автомобиля, анализируются вычислительным элементом и дополняются информацией с базовой станции. Результат передается блоку управления, который строит маршрут с учетом всех возможных препятствий. После чего данные о безопасном маршруте передаются встроенному компьютеру беспилотного автомобиля, и он продолжает движение. Такая архитектура обеспечивает постоянный мониторинг обстановки на дороге и, тем самым, способствует предотвращению аварий.

Для реализации данной системы требуется рассчитать сетевую задержку, которая возникает с момента передачи данных беспилотного автомобиля на базовую станцию и до возврата обработанной информации обратно автомобилю. Сетевая задержка зависит от следующих параметров:

- оптимальное расстояние между базовыми станциями;
- максимальное расстояние между автомобилем и базовой станцией;
- допустимая скорость автомобиля;
- расстояние между базовой станцией и глобальным облаком.

Что касается поведения беспилотного автотранспорта в настоящее время на его борту находится большое количество устройств для считывания и его позиционирования – это лидары, радары, датчики. Во-первых, каждый из них генерирует большой объем трафика, во-вторых, каждый из них требует определенной скорости передачи данных, так как разные объемы передаваемых данных.

Результат анализа работы таких устройств представила компания Huawei – в сутки беспилотное транспортное средство генерирует 1,5Тб данных, которые необходимо обрабатывать. В связи с этим, возникает вопрос, касающийся задач обработки данных и задач взаимодействия этих устройств.

Соответственно, возможно создание различных приложений: удаленная диагностика, возможность мониторинга дорожной сети в целом, аналитика предсказаний дорожно-транспортных происшествий и т. д.

### IV. ФУНКЦИИ СЕТЕВОЙ ИНФРАСТРУКТУРЫ

Рассмотрим непосредственно базовые функциональные элементы любой системы беспилотного автотранспорта и их возможные приложения.

Функции сетевой инфраструктуры при активации беспилотного автомобиля должны быть разделены в соответствии с различными требованиями к срочности и сложности, как показано на рис. 2 [5].

Функциональные базовые элементы кратко перечислены следующим образом:

- Бортовые службы, которые имеют низкую задержку из-за преимуществ локальной обработки: большинство срочных решений может быть принято непосредственно в транспортных средствах.
- Пограничные службы, которые могут обеспечить постоянную поддержку и помощь при движении транспортного средства между несколькими операторами: например, сложные приложения, такие как приложения, отвечающие за координацию между транспортными средствами и

инфраструктурой, могут быть реализованы на пограничных хостах.

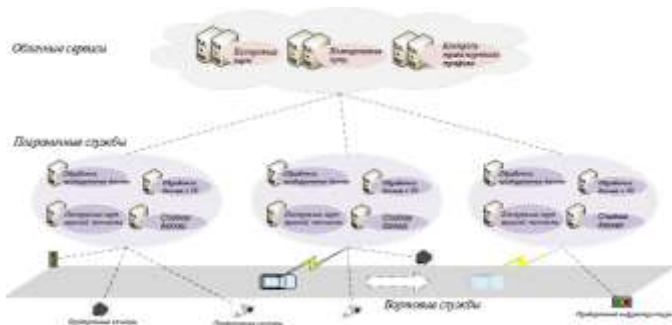


Рис. 2. Функциональная архитектура сетевой инфраструктуры беспилотного автотранспорта

- Облачные сервисы, которые имеют широкий диапазон покрытия и обладают мощными вычислительными возможностями: учитывая большую дальность передачи, некоторые функции с меньшим требованием к задержке могут быть реализованы в облаке, например, построение карт и планирование пути.



Рис. 3. Функциональная архитектура сетевой системы

На рисунке 3 показана функциональная архитектура сетевой системы помощи при движении беспилотных транспортных средств, которая включает в себя функциональные возможности облачных и пограничных служб. В функциональной архитектуре функциональные элементы на уровне сервисной поддержки и поддержки приложений являются основными функциональными элементами. Они могут предоставить рекомендации по вождению транспортных средств, чтобы помочь скорректировать движение беспилотного автомобиля. Для удовлетворения требований связи со сверхнизкой задержкой необходимы высоконадежные сети. Сеть сквозная для информации о взаимодействии между различными объектами, включая транспортные устройства, пограничные и облачные сервисы.

Также на рис. 3 обозначены опорные точки между элементами. В функциональной архитектуре функциональные объекты для помощи при движении

беспилотных транспортных средств на разных уровнях соединяются через опорные точки:

Контрольная точка 1 находится между объектом обработки данных на обочине дороги и объектом управления статическими данными в поддержку сбора данных и слияния статических данных. Она предназначена для связи между объектом обработки данных на обочине дороги и объектом управления статическими данными. Передается инвариантная во времени информация, которая собирается из придорожных инфраструктур, например, информация о дорожной сети, статическая информация о дорожном знаке и знаке полосы движения.

Контрольная точка 2 расположена между объектом обработки придорожных данных и объектом управления динамическими данными в поддержку сбора данных и слияния динамических данных. Она нужна для связи между объектом обработки придорожных данных и объектом динамического управления данными. Передается информация о временных вариантах, которая собирается из придорожной инфраструктуры, например, информация об обнаруженных участниках дорожного движения и фазе работы светофоров.

Контрольная точка 3 – между объектом обработки данных транспортного средства и объектом управления статическими данными в поддержку сбора данных и слияния статических данных. Связывает объект обработки данных транспортного средства и объект управления статическими данными. Передается инвариантная во времени информация, которая собирается с транспортных средств, например, основные параметры транспортных средств и их идентификация.

Контрольная точка 4 расположена между объектом обработки данных транспортного средства и объектом управления динамическими данными в поддержку сбора данных и слияния динамических данных. Обеспечивает связь между объектом обработки данных транспортного средства и объектом динамического управления данными. Передается информация о временных вариантах, которая собирается с транспортных средств, такая как состояние движения транспортного средства (например, скорость, крутящий момент двигателя, расход топлива) и данные автономного восприятия транспортного средства от бортовых датчиков (например, бортовая камера и лидар).

Опорная точка 5 – между статическим объектом управления данными и объектом слияния данных в поддержку функции слияния данных. Для связи между статическим объектом управления данными и объектом слияния данных. Передаются предварительно обработанные статические данные, которые собираются из блока обработки данных транспортного средства и придорожных данных, в блок слияние данных для дальнейшей обработки.

Опорная точка 6 находится между объектом динамического управления данными и объектом слияния данных в поддержку функции слияния данных. Предназначена для связи между объектом динамического управления данными и объектом слияния данных.

Передаются предварительно обработанные динамические данные, которые собираются из блока обработки данных транспортного средства и придорожных данных, в блок слияния данных для дальнейшей обработки.

Опорная точка 7 – между объектом слияния данных и объектом построения карты высокой точности в поддержку функции построения карты высокой четкости. Нужна для связи между объектом слияния данных и объектом построения карты высокой точности. Передаются результаты слияния для построения карт высокой точности, включая информацию о местоположении и информацию о составе участников дорожного движения (например, пешеходы, велосипедисты, транспортные средства).

Контрольная точка 8 – между объектом слияния данных и координационным органом транспортных средств в поддержку совместного контроля между транспортными средствами. Для связи между объектом слияния данных и объектом координации транспортных средств. Здесь в основном передаются результаты слияния информации транспортных средств для генерации предложений по координации движения транспортных средств в бортовые приложения.

Контрольная точка 9 расположена между объектом слияния данных и объектом координации транспортных средств и дорог в поддержку совместного контроля между транспортным средством и придорожной инфраструктурой. Предназначена для связи между объектом слияния данных и объектом координации транспортных средств и дорог. В основном передаются результаты слияния информации о транспортном средстве и информации о придорожной инфраструктуре, которые используются для генерации предложений по управлению транспортными средствами и дорожной координацией в бортовые приложения.

Опорная точка 10 – между объектом построения карты высокой точности и бортовыми приложениями для поддержки различных бортовых систем помощи при движении беспилотного ТС или автономных приложений вождения. Здесь обеспечивается связь между объектом построения карт высокой точности и бортовыми приложениями. В основном передаются части карты высокой точности, включая карту с уточнениями классификации дороги, полос движения и объектов.

Контрольная точка 11 – между блоком координации транспортных средств и бортовыми приложениями в поддержку различных бортовых систем при движении беспилотного ТС или автономных приложений вождения. Нужна для связи между блоком координации транспортных средств и бортовыми приложениями. Здесь в основном передаются оптимальные решения помощи при движении беспилотного транспортного средства, основанные на взаимосвязи дорожных транспортных средств, это может быть предупреждение о столкновении.

Контрольная точка 12 – между транспортным средством и дорожным блоком координации и бортовыми

приложениями для поддержки различных бортовых систем помощи при движении беспилотного ТС или автономных приложений вождения. Здесь обеспечивается связь между транспортным средством и дорожным блоком координации и бортовыми приложениями. Здесь в основном передаются оптимальные решения по оказанию помощи при движении беспилотного транспортного средства на основе информации о придорожной инфраструктуре, такой как оптимальная скорость движения или маршрут движения [5].

## V. ВЫВОДЫ

Несмотря на несчастные случаи, на сегодняшний день, испытания показали, что беспилотный автотранспорт безопаснее транспорта, которым управляют люди и после массового внедрения вероятность таких случаев на дорогах снизится. В настоящее время использование облачных технологий предлагается повсеместно, это обусловлено тем, что для обработки больших объемов информации необходима удобная модель повсеместного сетевого доступа ко всем конфигурируемым ресурсам обработки данных [6,7]. Данные должны передаваться мгновенно между транспортными средствами и инфраструктурой (1мс круговой задержки) и с высокой скоростью между собой. Для этого требуется введение нового высокоскоростного стандарта 5G, усовершенствованной дорожно-транспортной и телекоммуникационной инфраструктуры [8].

Анализ предлагаемой функциональной архитектуры сетевой системы поддержки беспилотного автотранспорта показывает возможность построения данной системы в ближайшем будущем.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- [1] Dietmar P.F. Möller, Roland E. Haas, Guide to Automotive Connectivity and Cybersecurity: Trends, Technologies, Innovations and Applications // ISSN 1617-7975, ISSN: 2197-8433 (электронный), Computer Communications and Networks, ISBN 978-3-319-73511-5, ISBN 978-3-319-73512-2, Springer International Publishing AG, 2019.
- [2] Alessio Gambi, Marc Mueller, Gordon Fraser, Automatically testing self-driving cars with search-based procedural content generation, ISSTA 2019: Proceedings of the 28th ACM SIGSOFT International Symposium on Software Testing and Analysis July 2019, P. 318–328, ISBN 978-1-7281-1764-5, ISSN 2574-1934.
- [3] CNBC, “Uber’s self-driving SUV saw the pedestrian in fatal accident but didn’t brake, officials say”, may 2018.
- [4] 3GPP TR 22.885: "Study on LTE Support for V2X Services".
- [5] ITU-T Y.4471 (ex. Y.NDA-arch) "Functional architecture of network-based driving assistance for autonomous vehicles".
- [6] Al-Gaashani M., Muthanna M.S.A., Abdukodir K., Muthanna A., Kirichek R. Intelligent system architecture for smart city and its applications based edge computing/ 2020 12th International Congress on Ultra Modern Telecommunications and Control Systems and Workshops (ICUMT). 2020. P. 269-274.
- [7] Zakharov M., Muthanna A., Kirichek R., Koucheryavy A. Real-time molecular analysis methods based on cloud computing. /International Conference on Advanced Communication Technology, ICACT. 22, Digital Security Global Agenda for Safe Society. ICACT 2020 - Proceeding. 2020. C. 620-623.
- [8] Khayyat M., Alshahrani A., Alharbi S., Elgendy I., Paramonov A., Koucheryavy A. Multilevel service-provisioning-based autonomous vehicle applications Sustainability. 2020. T. 12. № 6. C. 2497.