



Объекты инфраструктуры для беспилотных транспортных средств



Иван КРЕМЛЕВ
Ivan A. KREMLEV

Александр ТЫРЫШКИН
Alexander V. TYRYSHKIN



**Infrastructure Facilities
for Unmanned Vehicles**
(текст статьи на англ. яз. –
English text of the article – p.69)

В статье рассмотрены технологические аспекты создания объектов инфраструктуры для организации движения беспилотных автомобилей на автодорогах. Проанализированы характерные особенности работы машин с автономной системой управления в России и других регионах мира. На основе проведённого исследования авторами предлагается принципиально новый подход к решению задачи распознавания объектов на пути следования беспилотных транспортных средств. Оценивается эффективность существующих и альтернативных систем.

Ключевые слова: беспилотные автомобили, автодороги, инфраструктура, система распознавания объектов, метод распознавания дорожных знаков, технологии управления, мобильные сети.

Кремлев Иван Андреевич – магистрант отделения автоматизации и робототехники Национального исследовательского Томского политехнического университета, Томск, Россия.

Тырышкин Александр Васильевич – кандидат технических наук, доцент отделения автоматизации и робототехники Национального исследовательского Томского политехнического университета, Томск, Россия.

Одна из очевидных тенденций современного производства автомобилей – создание машин с автономной системой управления. Изначально транспортные системы автономного управления появились в США в 2000-х годах в военном деле [1]. Тогда разрабатывались автономные транспортные средства, способные проходить зоны обстрела и доставлять грузы к обозначенным точкам. Тем не менее техническое новшество неплохо прижилось и в гражданской среде. Теперь на слуху у потребителей автопилоты Tesla Motors, General Motors. Европейские и японские производители – Nissan, Toyota, BMW и прочие – не остались в стороне и уже имеют серьёзные наработки в области автономного управления.

В настоящий момент автономные системы управления транспортом учитывают не только инфраструктурные данные (дороги, разметку, светофоры и т.д.). Это мощные компьютеры, которые имеют множество камер, датчиков, сканеров, могут моментально обрабатывать информацию и принимать решения о маневрировании, исходя из реальной обстановки на дороге. Конечно, чем лучше качество

дорог и разметки и чем более предсказуемы действия других водителей (имеется в виду движение с учётом ПДД), тем безопаснее будет движение беспилотного автомобиля. Автомобили с системой автономного управления должны снизить уровень инцидентов на дорогах (вероятность человеческой ошибки будет сведена до нуля), а также избавить водителей от необходимости долгого пребывания за рулём [1].

По мнению экспертов, использование беспилотных ТС позволит сократить количество ДТП на 80–90 %. Кроме того, такие автомобили обеспечат значительную экономию топлива и расходов на эксплуатацию (до 30 %) за счёт оптимизации скоростного режима движения. Другими эффектами использования беспилотников станут увеличение максимальной пропускной способности дорог, упорядочивание движения и минимизация дистанции между ТС.

При всём том одной из наиболее трудных задач, которые стоят перед исследователями, остаётся распознавание в режиме реального времени всевозможных объектов, которые встречаются на пути у транспортного средства.

В последние двадцать лет многие учёные из разных стран пытались решить задачу распознавания дорожных знаков. Самые первые исследования по этой тематике появились в 80-х годах XX века. Однако вычислительные мощности на тот момент не позволяли удовлетворительно реализовать обработку видеоряда. Помимо того, не существовало камер, которые позволяли бы получать изображения нужного формата и размера. Сегодня технический уровень мобильных процессоров достиг той отметки, когда с определённой уверенностью можно устанавливать системы по распознаванию дорожных знаков на серийные автомобили. Например, технология CUDA от NVIDIA, которая значительно увеличивает вычислительную производительность за счёт архитектуры параллельных вычислений, позволяет сокращать время на обработку изображений до нескольких миллисекунд, что удовлетворяет требованиям по обработке видеоряда в режиме онлайн [2]. Но системы, которые

используются в серийных автомобилях, имеют низкую точность распознавания, а также не всегда корректно обнаруживают отечественные дорожные знаки.

В 2011 году на базе 50 тысяч изображений немецких дорожных знаков специалисты из университета Лугано создали программу по их распознаванию на основе нейронных сетей. На конкурсе она показала результат 99,46 %, опередив не только другие программы, но даже лучшего из 32 людей-участников конкурса (99,22 %), причём средний показатель среди людей составил 98,84 % [3, с. 81].

подавляющее большинство систем, ориентированных на дорожные знаки, основано на техническом зрении. С позиции детектирования и распознавания подобные знаки являются довольно простыми объектами. Кроме того, их вид и форма определяются в России государственным стандартом ГОСТ Р 52290-2004 [4, с. 2–14].

Согласно классификации подходов различают методы распознавания дорожных знаков на основе цвета, на основе формы или комбинированные. Однако их объединяет использование пороговой обработки или цветовой сегментации для выделения области изображения, где находится дорожный знак, и последующего его распознавания путём попиксельного сравнения с эталоном. Такая модель представления цветов имеет свои недостатки.

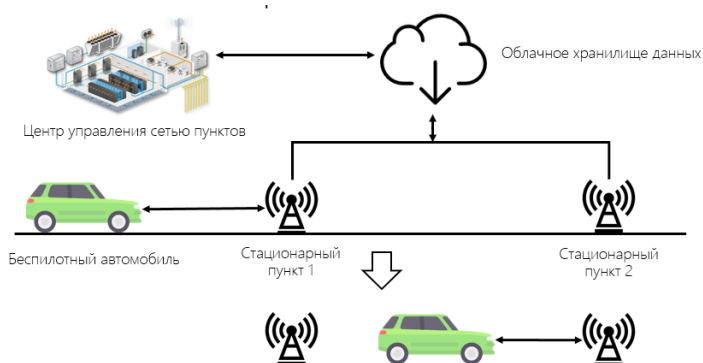
Во-первых, это влияние теней и освещённости на эффективность распознавания. Во-вторых, для реализации такой системы нужны серьёзные вычислительные мощности, что значительно увеличивает стоимость беспилотного автомобиля.

Ещё одним методом, благодаря которому беспилотник способен распознавать дорожные знаки, стали QR-коды. Среди двумерных штрих-кодов именно Quick Response (QR) заслужил особое внимание инженеров. QR-коды обладают многими преимуществами по сравнению с себе подобными, включая высокую надёжность, конфиденциальность информации, читаемость с любого направления, возможность коррекции ошибок (следовательно, шума и частичного повреждения изображения).

QR-коды не так давно используются в интеллектуальных транспортных системах и транспортных средствах, например,



Рис. 1. Структура системы управления беспилотными автомобилями.



в системах парковки, системах отслеживания состояния шин, навигационных системах [5].

Основной целью использования системы с участием QR-кодов является объединение преимуществ классических систем дорожных знаков с преимуществами QR-кодов. В частности, такие системы будут устойчивыми к изменениям внешней среды, легко поддержат обработку в режиме реального времени, но самое главное, способны на коррекцию ошибок при небольшом повреждении дорожного знака.

Недостатками подобных систем является то, что QR-коды наносятся на классический дорожный знак, а значит, он нуждается в постоянном обслуживании, а при необходимости и в замене.

Авторы статьи предлагают новый подход, предполагающий установку стационарных пунктов, которые связаны между собой в единую сеть и обмениваются данными с облачным хранилищем. В свою очередь, облачное хранилище связано с центром управления сетью пунктов, где находится диспетчер, в режиме реального времени отслеживающий все показатели и только в случае необходимости вмешивающийся в работу системы. В стационарном пункте установлен передатчик, который излучает сигнал в сторону транспортного потока, а в беспилотном автомобиле приёмник принимает сигнал и формирует управляющее воздействие на исполнительные устройства транспортного средства (рис. 1) [6]. В результате беспилотный автомобиль может двигаться согласно правилам дорожного движения.

Демонстрируемый подход позволяет значительно снизить необходимую вычис-

лительную мощность центрального процессорного устройства для обработки информации о движении в транспортном потоке, а также снизить стоимость создания беспилотного транспортного средства.

Для реализации подобной системы известно два основных метода — использование технологии DSRC (Dedicated short-range communications, выделенная связь ближнего действия) или мобильных сетей 4G (LTE), а в будущем 5G.

Устройства DSRC, созданные в соответствии с международными стандартами IEEE802.11p и IEEE1609, помогают решить проблему оперативной передачи информации между автомобилями и объектами транспортной инфраструктуры с одновременной минимизацией расходов на центры обработки данных, без создания дорогостоящей инфраструктуры и применения глобальных каналов коммуникаций.

Дополнение DSRC технологиями динамической маршрутизации для построения одноранговых сетей, DTN (Delay&Disruption-Tolerant Networking — сетей, устойчивых к задержкам), глобального геопозиционирования ГЛОНАСС/GPS решает большинство проблем, свойственных традиционным системам управления и связи. Одновременно существенно повышаются технические характеристики системы за счёт размещения средств первичной обработки данных непосредственно на приёмо-передающих устройствах без отправки больших объёмов информации в вычислительные центры.

Благодаря таким технологиям стали возможны не только автоматизация и интеллектуализация управления дорожным движением, построение системы эффективного предотвращения столкновений,

Таблица 1

Сравнительная характеристика DSRC и LTE-A

Характеристики	DSRC	LTE-A
Ширина канала	10 МГц	До 100 МГц
Частотные диапазоны	5,86–5,92 ГГц	450 МГц–4,99 ГГц
Дальность работы	До 1 км	До 30 км
Покрывтие	Локальное	Сплошное

	Техническое зрение		Штрих-коды		Беспроводные сигналы
Дорожный знак с установкой	20 000• 10 000 руб. = ~ 200 млн руб.	Дорожный знак с установкой	10 000• 10 000 руб. = ~ 100 млн руб.	Установка стационарных пунктов	5 000• 20 000 руб. = ~ 100 млн руб.
Бортовой компьютер для обработки изображения	150 000• 1 000 000 руб. = ~ 150 млрд руб.	Считыватель для штрих-кода	150 000• 10 000 руб. = ~ 1,5 млрд руб.	Портативный модуль для автомобиля	1 000• 1 000 000 руб. = ~ 1 млрд руб.
Камера	150 000• 30 000 руб. = ~ 4,5 млрд руб.	Бортовой компьютер	150 000• 10 000 руб. = ~ 1,5 млрд руб.	Оборудование центра управления и облачного хранилища	~ 100 млн руб.
Итого	~ 159,7 млрд руб.	Итого	~ 3,1 млрд руб.	Итого	~ 1,2 млрд руб.

Рис. 2. Расчёт экономической эффективности системы в Томске.

но и создание открытой платформы для конструирования целевых решений сходного с «умными городами» масштаба.

При этом технология DSRC тоже обладает недостатками. Один из наиболее серьёзных из них — необходимость персонализации (присвоение уникального кода) приёмопередающей аппаратуры каждого транспортного средства, что наталкивается как на труднопреодолимую техническую проблему генерации большого числа ортогональных кодов, так и на потребность решать сопутствующие правовые проблемы.

Кроме того, скорость передачи данных в технологии DSRC достаточно низкая по сравнению с LTE-A. Сравнительная характеристика двух технологий представлена в таблице 1.

Исходя из таблицы, можно сделать вывод, что сети LTE-A могут использоваться совместно с DSRC для решения проблемы взаимодействия транспортных средств между собой и с инфраструктурой.

Система коммуникации между автомобилями находит широкое применение в управлении движением. Главной целью проводимых мероприятий является предупреждение «пробок», а также адаптация

движения к погодным условиям. Основные направления беспроводного регулирования движения:

- регулирование скорости потока;
- управление транспортной развязкой;
- обеспечение движения машин специальных служб;
- обеспечение движения в режиме «зелёная волна»;
- предупреждение о «пробке»;
- выбор оптимального маршрута по разным критериям (время, топливо, плата).

Наряду с управлением движением система коммуникации между автомобилями позволяет ещё и контролировать это движение, что обязательно будет востребовано надзорными органами (полицией).

Рассмотрим в таблице 2 задачи, которые предназначено решать беспилотному автомобилю и которые снимутся в случае установки на дорогах общего пользования предлагаемой системы.

Ряд из указанных задач уже решён в современных автомобилях с помощью видеокамеры и радара — например, в системах экстренного торможения, помощи при перестроении, распознавания дорожных знаков. Но технические возможности предлагаемой системы значительно шире: например, ни одна из имеющихся систем не может заглянуть за угол.



Задачи беспилотного автомобиля

Задачи	Беспилотный автомобиль	Регулировщик
Выбор траектории движения беспилотного транспортного средства		+
Поддержание безопасной дистанции до впереди идущих транспортных средств	+	
Поддержание выбранной полосы дорожного движения	+	
Отслеживание динамических помех	+	
Помощь при проезде перекрёстков		+
Помощь при повороте налево		+
Взаимодействие с другими транспортными средствами		+
Расчёт маршрута движения транспортного средства		+
Определение приоритетов движения транспортных средств		+
Информирование о дорожно-транспортном происшествии		+
Предупреждение о плохих погодных условиях		+

На текущий момент наиболее востребованным бортовым компьютером для беспилотных автомобилей является модель NVIDIA DRIVE PX2 (стоимость около 15 тыс. долларов). Мощность подобного компьютера сопоставима с мощностью 150 ноутбуков Macbook Pro [7, с. 1]. В случае установки стационарных регулировщиков для организации движения беспилотных транспортных средств с центрального процессорного устройства автомобилей снимается серьёзная вычислительная нагрузка, поскольку нет необходимости в выборе траектории, расчётах при проезде перекрёстков и взаимодействии с другими транспортными средствами – всё это выполняет система управления организацией движения.

Рассчитаем экономическую эффективность от внедрения подобной системы в таком городе, как Томск (с населением 570 тыс. человек) [8], где установлено около 20 тыс. дорожных знаков (оценка количества знаков проведена самостоятельно) и зарегистрировано около 150 тыс. автомобилей [9] (рис. 2).

Внедрение стационарных пунктов для организации движения на дорогах общего пользования позволит сэкономить миллиарды рублей при проектировании нового города или микрорайона.

Суммируя полученные результаты, есть основание говорить о том, что технологии

в сфере беспилотных транспортных средств постоянно развиваются и на очереди новые инженерные решения, которые позволят организовать движение с максимальной скоростью из одного пункта в другой, сохраняя требуемый уровень безопасности для людей и техники.

ЛИТЕРАТУРА

1. В будущее на автопилоте. Нужны ли машины без водителя? [Электронный ресурс]: <http://www.insur-info.ru/press/120787/>. Доступ 19.02.2019.
2. Параллельные вычисления с CUDA. [Электронный ресурс]: <http://www.nvidia.ru/object/cuda-parallel-computing-ru.html>. Доступ 19.02.2019.
3. Форд М. Роботы наступают: Развитие технологий и будущее без работы. – М.: Альпина Диджитал, 2015.
4. ГОСТ Р 52290-2004. Технические средства организации дорожного движения. Знаки дорожные. Общие технические требования.
5. Eken S., Sayar A. A Smart Bus Tracking System Based on Location-Aware Services and QR Codes. – International Symposium on Innovations in Intelligent Systems and Applications. – June, 2014.
6. Преимущества современного стандарта Wi-Fi 802.11ac. [Электронный ресурс]: http://ipboom.ru/info/articles/2017/preimushchestva_sovremennogo_standarta_wi-fi_802_11ac/. Доступ 19.02.2019.
7. First picture of Tesla's new NVIDIA onboard supercomputer for Autopilot installed in a car. [Электронный ресурс]: <https://electrek.co/2017/01/20/first-picture-of-teslas-new-nvidia-onboard-supercomputer-for-autopilot-installed-in-a-car/>. Доступ 19.02.2019.
8. Википедия – свободная энциклопедия. [Электронный ресурс]: <https://ru.wikipedia.org/wiki/Томск>. Доступ 19.02.2019.
9. Томск занял 32 место среди городов РФ по объёму автомобильного парка. РИА новости. [Электронный ресурс]: <https://www.riatomsk.ru/article/20150313/tomsk-objem-avtomobiljnogo-parka/>. Доступ 19.02.2019. ●

Координаты авторов: **Кремлев И. А.** – ivankremlyov@mail.ru, **Тырышкин А. В.** – tyryshkin@tpu.ru.

Статья поступила в редакцию 19.02.2019, принята к публикации 07.03.2019.