

Влияние опасных метеорологических явлений и процессов на систему распознавания образов высокоавтоматизированных транспортных средств



Н. И. Григоренко,
канд. техн. наук, замести-
тель начальника отдела
трансфера технологий
Всероссийского научно-
исследовательского
института авиационных
материалов Националь-
ного исследовательского
центра «Курчатовский
институт»



В. А. Гутников,
канд. техн. наук,
заместитель гене-
рального директора
Центрального научно-
исследовательского
и проектного института
министерства строи-
тельства и жилищно-
коммунального
хозяйства РФ

Система искусственного интеллекта управления движением высокоавтоматизированного транспортного средства в опасных метеорологических условиях является значимым фактором безопасности дорожного движения. При этом важнейшей проблемой выступает технологическое решение по разработке надежной системы распознавания образов, способной учитывать опасные метеорологические явления и процессы, создающие чрезвычайные условия при дорожном движении.

Технология автоматизированного вождения исследуется и разрабатывается в качестве транспортной системы следующего поколения и направлена на снижение количества дорожно-транспортных происшествий и обеспечение оптимального транспортного потока. Тестирование беспилотного транспорта в России происходит в рамках экспериментальных правовых режимов. На дорогах общего пользования оно проводится в 38 регионах по всей стране, в том числе на федеральной трассе М11 Санкт-Петербург — Москва.

Минтранс разрабатывает проект закона «О высокоавтоматизированных транспортных средствах», который позволит их испытывать без человека за рулем. Однако на текущий момент отсутствует нормативно-правовая база для тестирования полностью высокоавтоматизированных автономных транспортных средств.

Международный стандарт SAE J3016_202104 описывает системы управления транспортным средством (ТС), которые частично или полностью выполняют динамическую задачу управления им на постоянной основе. Система принятия решений должна самостоятельно учитывать возникающую ситуацию в зоне своего движения и в кратчайшее время

принять решение по обеспечению безопасности.

Для эксплуатации автоматизированных транспортных средств (АТС) на дорогах общего пользования необходимо провести анализ и оценку результатов тестирования при различных метеорологических условиях. С учетом различных условий дорожного движения необходимо разработать систему принятия решений. Она должна учитывать дорожную ситуацию, плотность движения и правила дорожного движения, а при внедрении АТС функционировать в различных условиях (городских, пригородных) в разных регионах страны.

Основные параметры мониторинга и прогнозирования опасных метеорологических процессов и явлений, способы и средства наблюдений определены в требованиях ГОСТ Р 22.1.07–2023. Важной задачей является внедрение надежной системы распознавания, учитывающей метеорологические условия.

Солнечные блики, дождь, туман и снег — это неблагоприятные метеорологические условия, характерные для вождения. Поскольку каждый датчик, установленный на АТС, имеет преимущества и недостатки в различных условиях окружающей среды, необходимо разработать надежные системы распознавания и принятия решений при любых ситуациях.

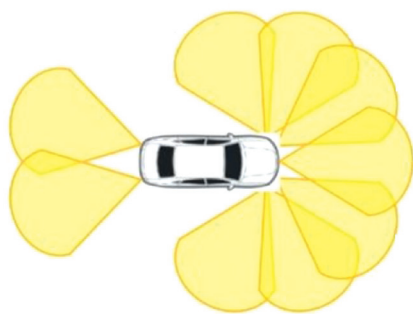


Рис. 1. Расположения датчиков на автоматизированном транспортном средстве

Датчики для тестирования автоматизированных транспортных средств

Для оценки влияния неблагоприятных метеорологических условий АТС оснастили различными датчиками: LiDAR, MWR, камеры и ГЛОНАСС/инерциальные навигационные системы (ИНС) (рис. 1).

Сопряженным ГЛОНАСС/ИНС с частотой 100 Гц транспортное средство было оснащено для предоставления информации о положении (широте, долготе и высоте) и ориентации (тангаже, рыскании и крене). Для проведения измерений окружающей среды на ТС установили 3D LiDAR Velodyne HDL-64E S2 с 64 отдельными лучами (измерение всенаправленное с частотой около 10 Гц). Девять MWR, которые измеряют расстояние, угол и относительную скорость объектов с частотой 20 Гц, установили внутри переднего и заднего бамперов для распознавания удаленных объектов. Монокамера с разрешением 1920×1080 пикселей при частоте 10 Гц установлена на лобовом стекле внутри автомобиля.

На рис. 2 показан пример данных наблюдений с помощью 3D LiDAR. Преимущество заключается в том, что окружающую обстановку можно наблюдать в трехмерном пространстве. Помимо расстояния до объекта относительная скорость в направлении облучения может быть измерена с помощью радара непрерывной волны с частотной модуляцией (FMCW).

MWR является датчиком с отличной устойчивостью к воздействию окружающей среды, поскольку менее подвержен влиянию тумана, дождя и снега, чем LiDAR и камеры видимого света. В снегопад LiDAR измеряет сам снег, а MWR может проходить сквозь него и измерять ограждения и столбы линий электропередач впереди. При этом LiDAR

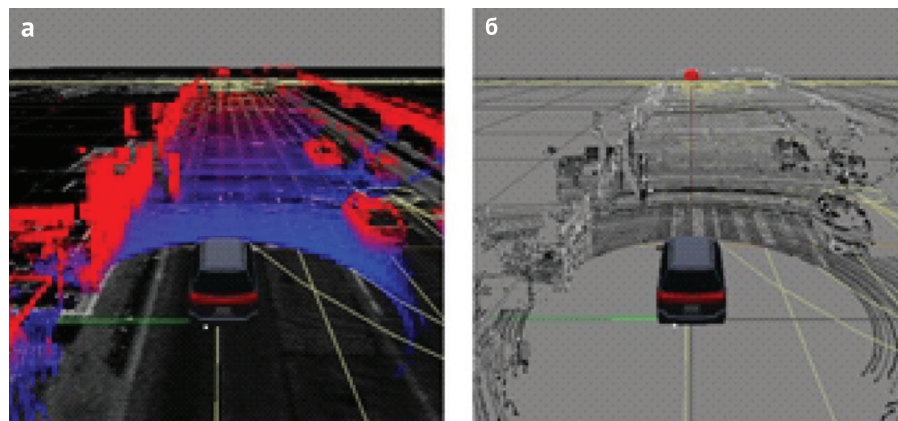


Рис. 2. Типичные данные наблюдений для 3D LiDAR: а — измеренное 3D облако точек в районе перехода «зебра» (разница в цвете — высота); б — измеренная инфракрасная отражательная способность для (а) (разница в цвете — интенсивность лазера)



Рис. 3. Технологический процесс для автоматизированного вождения

и MWR могут проводить измерения без воздействия солнечного света и работать вне зависимости от дня и ночи.

Камера является пассивным сенсором, который может захватывать обстановку в виде изображения. Этот датчик не только измеряет окружающую среду с высокой плотностью, но и получает информацию о цвете. Он незаменим для распознавания сигнала светофора. При этом камеры видимого света уязвимы во время тумана и в ночное время. Инфракрасные камеры имеют способность проникать сквозь туман и наблюдать за пешеходами ночью. Но они имеют более низкое разрешение (около 1,3 Мп), чем камеры видимого света, поэтому их текущее использование ограничено.

С помощью этих датчиков транспортное средство оценивает положение на цифровой карте, распознает окружающие объекты и особенности дороги, а затем обеспечивает безопасное вождение в соответствии с ПДД. При движении по городу ТС необходимо распознавать объекты в различных направле-

ниях, такие как встречные автомобили на перекрестках, пешеходы на переходах, встречные автомобили на соседних полосах. На рис. 3 показан процесс обработки информации с датчиков.

Бортовой компьютер должен обрабатывать данные для автономного вождения, опираясь на три ключевые технологические составляющие:

1. Самостоятельная локализация. В автоматизированных системах вождения заложен функционал по передвижению по различным дорогам, которые работают с использованием HD-карт. Цифровая карта обладает высокой точностью и различного рода фиксируемой информацией, что позволяет снизить технический уровень, необходимый для автоматизированного вождения. Для эффективного использования HD-карты необходимо всегда с высокой точностью оценивать положение ТС на карте с помощью бортовых датчиков. Требуемая точность находится на уровне дециметра.

2. Распознавание окружающей среды. Автоматизированное транспорт-

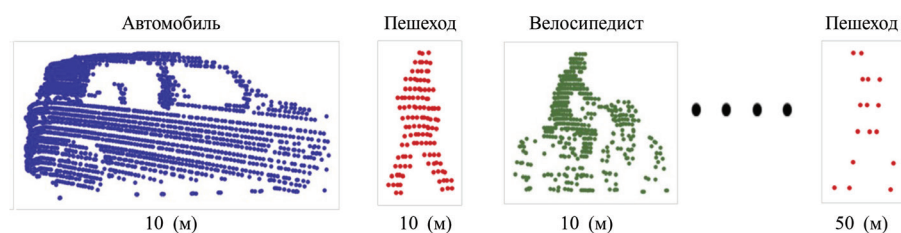


Рис. 4. Классификация объекта с помощью LiDAR

ное средство делает это с помощью бортовых датчиков и принимает ситуационные решения. Важно понимать окружающую среду вокруг автомобиля и прогнозировать, как могут изменяться условия. Чтобы ТС вело себя плавно в различных типах дорожных ситуаций, необходимо распознавать особенности дороги, дорожную инфраструктуру и др.

3. Планирование траектории. Необходимо планировать движение ТС в режиме реального времени путем интеграции результатов распознавания с точки зрения самостоятельной локализации, восприятий окружающего и цифровой картографической информации.

Эти три технологии впервые разработаны в области мобильных роботов. Поскольку в дорожной среде, где водители и автоматизированные системы смешаны, могут возникать различные ситуации, необходимо разработать специализированные технологии для ситуаций вождения, с которыми сталкивается АТС.

Для оценки местоположения транспортного средства используется технология сопоставления карт. Во многих научных публикациях применялся метод сопоставления карт между эталонной цифровой картой и сенсорными наблюдениями. Эталонная карта содержит информацию о характеристиках датчиков вокруг дорог с точным местоположением. В качестве предопределенных карт используются три типа структуры карты: 3D-карта облака точек, карта 2D-изображения и векторная структурированная карта.

3D-карта облака точек содержит информацию о 3D-объектах вокруг дороги. Карта 2D-изображения создается путем извлечения особенностей дорожного покрытия из 3D-облака точек. В результате уменьшается размер данных по сравнению с 3D-картой. Векторная карта содержит полиномиальные кривые границ дорог и полос движения, дорожные линии и бордюры. Эта карта считается легковесной с точки зрения

размера данных, но она имеет высокую стоимость обслуживания.

Для достижения точности на дециметровом уровне использовался метод на основе лидара, который отличается высокой точностью измерения датчика и его устойчивостью к изменениям в дневное и ночное время.

В некоторых работах описываются методы сопоставления карт, такие как фильтр гистограммы [1] и сопоставление сканирования [2]. Эти методы обычно оценивают местоположение ТС путем сопоставления дорожной краски и информации о форме здания вдоль его пути в качестве ориентиров. Предложены некоторые методы на основе камер, которые сопоставляют наблюдения изображений с 3D-картой LiDAR и являются не очень затратными [3].

Проблемы и решения

Ключевой задачей для АТС, движущихся по дорогам общего пользования, является распознавание особенностей дорожного покрытия вдоль полосы движения для соблюдения правил дорожного движения. Распознавание статических характеристик дороги, таких как ограничения скорости и стоп-линии, можно пропустить, если они заранее зарегистрированы на цифровой карте.

Ее использование позволяет определить зоны поиска, что помогает уменьшить количество ложных срабатываний [4]. Распознавание статических препятствий вокруг транспортного средства требует особенной точности измерения. Как правило, окружающие препятствия обнаруживаются с помощью датчиков дальности, таких как лидар, стереокамера и MWR. Чтобы уменьшить влияние мгновенных ложных обнаружений, генерируется сетка занятости (2D или 3D статическая карта препятствий со свободным пространством) с использованием двоичного фильтра Байеса для обработки временных рядов.

При распознавании с помощью датчика дальности точки наблюдения кла-

стеризуются, а категория объектов классифицируется с помощью алгоритмов машинного обучения (искусственного интеллекта), таких как Adaboost и Support Vector Machine (SVM), на основе особенностей формы этих объектов [5].

На рис. 4 представлен пример классифицируемого объекта, являющегося типичным примером данных для наблюдений с помощью LiDAR.

Если расстояние до объекта составляет несколько десятков метров, то можно получить плотное облако точек наблюдения и детализированную форму объекта. С другой стороны, при распознавании на основе изображений с камер можно получить более детальную информацию по сравнению с LiDAR, что позволяет распознать удаленные объекты на расстоянии более 100 м, выбрав соответствующий объектив.

В последние годы распознавание на основе глубоких нейронных сетей (DNN) используется как высокоточный метод распознавания по изображениям, часто с применением ускорения на основе графических процессоров (GPU) [6].

В дополнение к распознаванию участников дорожного движения необходимо прогнозировать состояние объектов через несколько секунд для безопасного обнаружения столкновений и обеспечения согласованного вождения (например, поддержания безопасной дистанции). Оценка состояния окружающих объектов выполняется с помощью вероятностных алгоритмов, таких как фильтр Калмана или фильтр частиц. Поскольку расстояние до объекта необходимо измерить, в основном используются датчики дальности, такие как LiDAR, MWR и стереокамеры [7]. Чтобы предсказать будущую траекторию движения распознанного объекта, эффективно использовать информацию о форме дороги из цифровой карты.

В качестве неблагоприятных метеорологических условий при автоматизированном движении рассмотрим влияние солнечных бликов. Распознавание с помощью камеры — это технология, на которую влияет солнечный свет, что ухудшает ее эффективность. На рис. 5 показано типичное изображение движения на перекрестке.

Проблема заключается в том, что изображение размывается при сильном солнечном свете, как показано на рис. 5, а. Следовательно, необходимо учитывать не только алгоритм, но и аппаратные усовершенствования. В последние годы

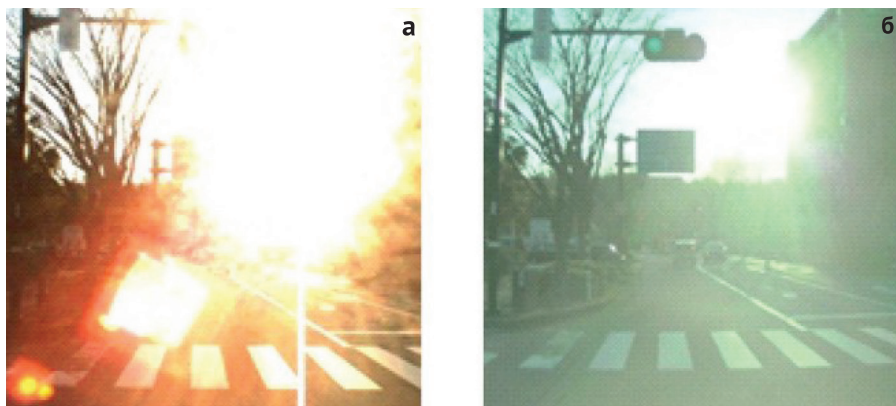


Рис. 5. Изображение при сильном солнечном свете для светофоров с использованием камер без HDR (а) и с HDR (б)

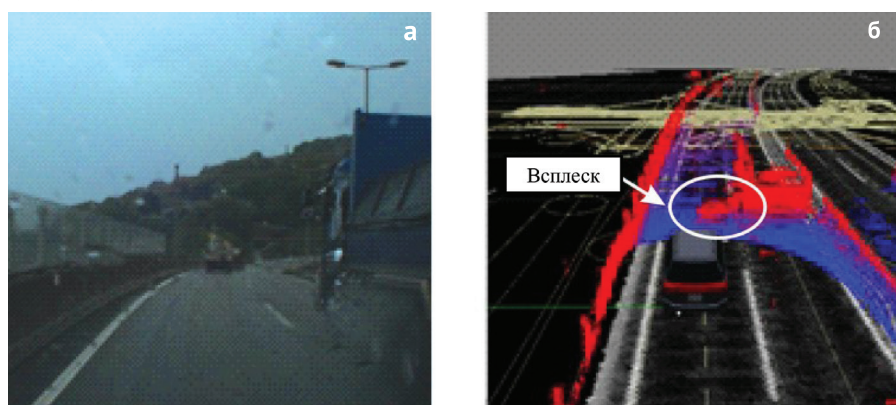


Рис. 6. Брызги рядом с соседним автомобилем во время дождя: а — изображение с камеры; б — лидарное наблюдение

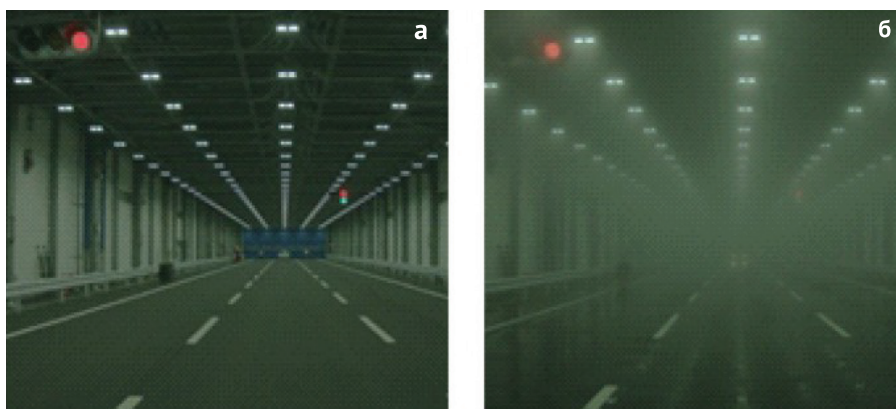


Рис. 7. Снимки дороги при искусственном туманном состоянии: а — состояние без тумана; б — состояние с туманом

разработаны камеры с высоким динамическим диапазоном (HDR) [8], которые устойчивы к изменениям яркости (рис. 5, б). Поскольку распознавание светофоров является незаменимой задачей при анализе ситуации на перекрестках, важно решить проблему интенсивного солнечного света как с программной, так и с аппаратной точки зрения.

Движение ТС под дождем — частое и неблагоприятное явление, которое необходимо учитывать. При использовании камеры капли дождя на объективе вызывают шум на захваченном изображении (рис. 6, а).

При установке камеры в передней части автомобиля капли дождя могут быть удалены стеклоочистителем, поскольку камера находится в пределах его подвижного радиуса действия. Однако, когда камера установлена сбоку или снаружи автомобиля для съемки изображений во всех направлениях, воздействие дождя неизбежно. Поэтому необходима такая установка камеры, которая бы учитывала воздействие капель и обеспечивала механизм их удаления.

Сильный дождь со скоростью около 10 мм/ч мало влияет на способность

LiDAR производить точные измерения, но когда его скорость достигает 30 км/ч и более измеримое расстояние будет составлять менее 50% [9]. В дополнение к воздействию осадков важным фактором являются брызги из луж, когда встречные и соседние транспортные средства проезжают мимо (рис. 6, б).

Используя только информацию о наблюдении с помощью LiDAR, трудно определить, идет ли речь о всплеске воды или о реальных препятствиях, которых следует избегать. В такой ситуации необходимо использовать объединение данных датчиков, например, включив в анализ информацию об изображении с камеры. Хотя MWR более устойчив к воздействию окружающей среды, чем LiDAR, на него влияет радиозатухание из-за осадков. По результатам оценки методом моделирования обнаруживаемая дальность снижается до 45% в случае сильного дождя, при движении ТС со скоростью 150 км/ч по сравнению с обычным движением при отсутствии осадков [10].

Следует также рассмотреть влияние тумана на движение автономного транспорта. Туман влияет на измерение данных LiDAR и камер. Согласно отчетам [10], расстояние измерения LiDAR уменьшается по мере сгущения тумана и сокращения расстояния видимости. Возможности измерения с помощью камер также ограничиваются, так как расстояние видимости сокращается. Нельзя ожидать эффективного распознавания изображений в видимом спектре в ситуациях, когда трудно видеть самому человеку.

На рис. 7 представлены снимки, полученные в искусственной туманной среде. Они подтверждают, что качество изображения в условиях тумана ухудшается, и видимость освещенных объектов, таких как светофоры, снижается. Одним из решений, позволяющим видеть окрестности в условиях тумана, является использование инфракрасных камер. Что касается лидара и обычных камер, то производительность распознавания может быть решена с помощью глубокой нейронной сети, которая использует данные с этих датчиков [11]. В условиях дождя и тумана важно распознавать окружающие объекты с учетом характеристик каждого датчика.

Важным вопросом является оценка автономного транспорта в период снегопада. Ожидается, что автоматизированное вождение будет внедрено



Рис. 8. Автоматизированное вождение по заснеженной дороге с использованием локализации на основе MWR

для снегоуборочной техники. Во время снегопада форма объектов вокруг дороги меняется, а дорожная разметка не видна из-за окклюзий. Следовательно, полученные данные не соответствуют данным цифровой карты. При этом становится проблематичным распознавание того, по какой полосе дороги движется ТС, что затрудняет выполнение автоматизированного вождения.

Существует три подхода к достижению устойчивой автономной локализации во время снегопада:

1. Возможное применение высокоточного ГЛОНАСС. Однако трудно определить точное положение на карте, если абсолютная точность, получаемая в реальном времени, отличается от требуемой для использования карты.

2. Метод реконструкции информации наблюдений. Улучшение ожидается, если количество выпавшего снега будет небольшим, и можно будет частично наблюдать дорожное покрытие и окружающие условия [11].

3. При снегопаде предлагается использовать надежный датчик. Для автономной локализации в неблагоприятных метеорологических условиях предложена система, использующая MWR [12]. Полученная поперечная точность в данном случае составляет около 0,2 м (рис. 8).

Следующая техническая проблема для АТС во время снегопада — распознавание объектов. При наблюдении с помощью LiDAR снег в воздухе может восприниматься как шум (рис. 9). Для решения данной проблемы разработаны методы удаления шума путем реконструкции наблюдательной информации [4].

Также надежного распознавания можно ожидать за счет устранения шума, содержащегося в данных датчика, с помощью алгоритмов машинного обучения. Влияние на MWR заключается в том, что наблюдаемое расстояние сокращается примерно на 25 % из-за

снегопада [6]. Несмотря на то, что обнаруживаемое расстояние короче, влияние во время снегопада меньше, чем у LiDAR.

Еще одна техническая проблема — планирование пути по заснеженным дорогам. Из-за снега часто происходят изменения проезжей части и появляются отвалы возле обочины. Если дорога при обычном состоянии представляет собой прямую двухполосную дорогу, то при большом количестве снега пространство трассы составит всего 1,5 полосы. В таких условиях водители могут ориентироваться эмпирически, самостоятельно адаптируясь к фактическим условиям движения. Во время автоматизированного вождения в условиях снегопада важно иметь возможность адаптивно планировать траекторию движения в соответствии с окружающими условиями, а не полностью полагаться на информацию с карты.

Закключение

Существуют погодные условия, при которых камеры и лидары становятся менее эффективными. Датчики с высокой устойчивостью к воздействию окружающей среды важны при проектировании конфигурации системы.

Проектирование систем, эффективно использующих обширные данные наблюдений, полученные с помощью

камеры или лидара, является эффективным подходом для реализации надежного распознавания дорог и самостоятельной локализации. Может быть разработана технология распознавания на основе низкоуровневого синтеза, которая интегрирует данные наблюдений от камеры, LiDAR и MWR. Надежная система достигается при распознавании объектов с использованием данных камер, обеспечивающих высокую точность распознавания. Информация о расстоянии до объекта может быть получена из данных измерения расстояния с помощью LiDAR или MWR.

Рассмотрено несколько методов слияния сенсоров с помощью глубоких нейронных сетей для моделирования и распознавания. При этих подходах можно ожидать надежного распознавания путем слияния данных с датчиков, которые взаимно дополняют друг друга. Однако при неблагоприятных метеорологических условиях необходимо предположить, что наблюдаемость конкретного датчика значительно снижается. Поэтому важно низкоуровневое слияние данных и высокоуровневый подход к слиянию, который интегрирует результаты распознавания, полученные каждым датчиком.

Проведено обобщение проблем и исследований по автоматизированному вождению в неблагоприятных

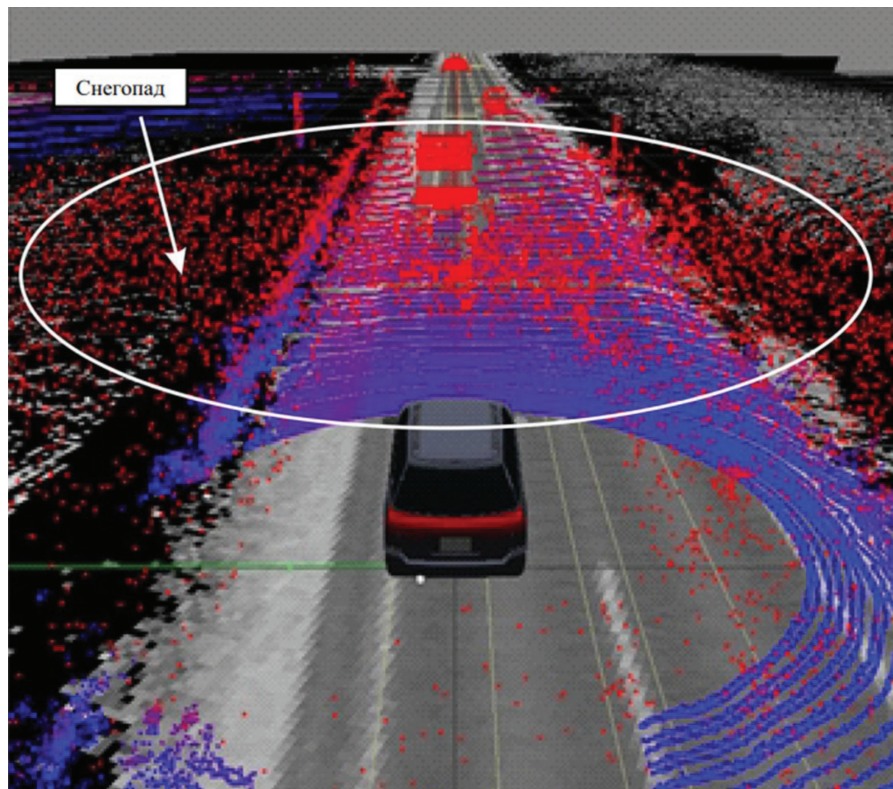


Рис. 9. Типичное наблюдение с помощью лидара в снежных условиях

метеорологических условиях. С целью разработки практической операционной системы и определения ее пределов рассмотрена технология распознавания в различных метеорологических условиях: при солнце, дожде, тумане и снеге. Проанализированы преимущества и недостатки каждого датчика и метода распознавания, которые будут способствовать разработке надежной системы распознавания путем слияния датчиков и использования инфраструктурных датчиков.

Для выполнения их эффективно объединения важно реализовать как низкоуровневое, так и высокоуровневое слияние и оценивать надежность датчиков. При использовании инфраструктурных приборов для внедрения автоматизированной системы вождения требуется проектирование системы, основанной на балансе между стоимостью установки и необходимой функциональностью. Используя современные технологии обучения, можно проектировать автоматизированное вождение, определяя область его применения таким образом, чтобы система могла быть представлена потребителю с учетом реалистичных факторов и условий повседневной езды. 

Источники

1. Родионов О. А., Рашид Б. Разработка семантической карты для беспилотного автомобиля с использованием метода

- одновременной локализации и картографирования // Вестник СибАД И. 2022. Т. 19. № 6 (88). С. 900–914. DOI: 10.26518/2071-7296-2022-19-6-900-914.
2. Добрецов Р. Ю., Соколова В. А., Затенко С. И. и др. Многослойные карты для обеспечения автоматизации управления движения наземных транспортных платформ // Известия ТулГУ. Технические науки. 2022. Вып. 6. С. 101–110.
3. Пьявченко А. О., Ильченко А. В. Метод пространственной локализации статических объектов по данным датчика глубины и RGB-камеры // Известия ЮФУ. Технические науки Раздел V. Техническое зрение. 2018. С. 271–284.
4. Шакирзянов Р. М. Обнаружение сигналов светофоров с использованием цветовой сегментации и детектора радиальной симметрии // Вестник Воронежского государственного технического университета. 2020. Т. 16. № 6. С. 25–33. DOI: 10.36622/ти.2020.16.6.004.
5. Блинкин М. Я., Кулакова А. А. Беспилотные автомобили: перспективы и ожидаемые последствия экспансии // Городские исследования и практики. 2023. Т. 8. № 1 С. 32–45. DOI: 10.17323/usp81202332-45.
6. Чуйков Р. Ю., Юдин Д. А. Обнаружение транспортных средств на изображениях загородных шоссе на основе метода Single shot multibox detector // Научный результат. Информационные технологии. 2017. Т. 2. № 4. С. 21–37.

7. Granstrom K., Baum M., Reuter S. Extended object tracking: introduction, overview and applications // Advances in Information Fusion. 2016. Vol. 12. № 2. P. 139–174.
8. Состояние и перспективы развития рынка бортового оборудования и технологий ADAS. Оценка влияния на развитие российского и международного рынка «Автонет» (аналитический отчет, 2020). URL: aggf.ru (дата обращения 3.09.2025).
9. Кошкарлов А. С., Семенова В. П. Разработка имитационной модели лида-ра системы предупреждения столкновений сервисного транспортного средства // Труды МАИ. 2023. № 128. DOI: 10.34759/trd-2023-128-15.
10. Григоренко Н. И., Гутников В. А. Система распознавания объектов беспилотных автомобилей в условиях бездорожья // Транспорт Российской Федерации. 2023. № 3–4 (106–107). С. 40–47.
11. Чулин К. В., Белов Ю. С. Разработка системы распознавания дорожных знаков на основе одноступенчатого детектора // Научное обозрение. 2022. № 3. С. 36–41.
12. Мсаллам М., Сырямкин В. И. Методика регистрации 3D облаков точек с использованием корреляции плоскостей и корреляции гистограмм // Прикаспийский журнал: управление и высокие технологии. 2023. № 1 (61). С. 73–88.



Общероссийская общественная организация РОССИЙСКАЯ АКАДЕМИЯ ТРАНСПОРТА

Научно-технологическое сопровождение НП «Эффективная транспортная система»

Научно-технологическое сопровождение проектов в сфере транспорта — это комплекс мероприятий по исследованию, разработке, экспертизе и внедрению инновационных проектных и технологических решений, направленных на создание эффективной, безопасной и устойчивой транспортной системы Российской Федерации.



**Национальный проект
«Эффективная
транспортная
система»**

**Модернизация и оптимизация
транспортных систем**



**Разработка и внедрение
инновационных технологий**



**Повышение безопасности и надежности
транспортной системы**



**Обучение и повышение квалификации
кадров**

