

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«Сибирский государственный университет геосистем и технологий»
(СГУГиТ)

ИНТЕРЭКСПО ГЕО-СИБИРЬ

XXI Международный научный конгресс

Сборник материалов в 8 т.

Т. 1

Международная научная конференция

**«ГЕОДЕЗИЯ, ГЕОИНФОРМАТИКА,
КАРТОГРАФИЯ, МАРКШЕЙДЕРИЯ»**

№ 1

Новосибирск
СГУГиТ
2025

Ответственные за выпуск:

Доктор технических наук, профессор кафедры инженерной геодезии
и маркшейдерского дела СГУГиТ, г. Новосибирск
Г. А. Уставич

Доктор технических наук, профессор кафедры инженерной геодезии
и маркшейдерского дела СГУГиТ, г. Новосибирск
А. А. Шоломицкий

Кандидат технических наук, доцент кафедры инженерной геодезии
и маркшейдерского дела СГУГиТ, г. Новосибирск
В. А. Скрипников

Доктор технических наук, профессор кафедры маркшейдерского дела и геодезии
Карагандинского государственного технического университета,
Республика Казахстан, г. Караганда
Ф. К. Низаметдинов

С26 Интерэкспо ГЕО-Сибирь. XXI Международный научный конгресс, 21–
22 мая 2025 г., Новосибирск : сборник материалов в 8 т. Т. 1: Междуна-
родная научная конференция «Геодезия, геоинформатика, картография, марк-
шейдерия». – Новосибирск : СГУГиТ, 2024. № 1 – 193 с. – ISSN 2618-981X. –
Текст : непосредственный.

DOI 10.33764/2618-981X-2025-1-1

В сборнике опубликованы материалы XXI Международного научного конгресса
«Интерэкспо ГЕО-Сибирь», представленные на Международной научной конференции
«Геодезия, геоинформатика, картография, маркшейдерия».

Печатается по решению редакционно-издательского совета СГУГиТ

Материалы публикуются в авторской редакции

Издание может содержать сведения об иностранных агентах

В. С. Беляков^{1✉}, М. А. Алтынцев¹

Автоматизация процесса паспортизации и технического учета автомобильных дорог

¹Сибирский государственный университет геосистем и технологий,
г. Новосибирск, Российская Федерация
e-mail: ss.log4533@gmail.com

Аннотация. Рассматривается необходимость и актуальность автоматизации процесса паспортизации и технического учета автомобильных дорог. Анализируется нормативная документация: ГОСТ 33388-2015 «Дороги автомобильные общего пользования. Требования к проведению диагностики и паспортизации» и ГОСТ Р 71360-2024 «Дороги автомобильные общего пользования. Технический учет и паспортизация. Общие технические требования». Представлены существующие методы ведения паспортизации и технического учета автомобильных дорог. Разобраны перспективные методы и средства автоматизации. Определена экономическая целесообразность. Разработана методика распознавания точек лазерных отражений, принадлежащих дорожной разметке. Методика исследована на примере данных мобильного лазерного сканирования, полученных для автомобильной дороги системой Riegl VMX-250. В заключении были сделаны выводы, согласно которым необходимо повысить уровень автоматизации процесса паспортизации и технического учета автомобильных дорог.

Ключевые слова: паспортизация, технический учет, автомобильные дороги, геодезия, автоматизация, мобильное лазерное сканирование, дорожная разметка

V. S. Belyakov^{1✉}, V. A. Altyntev¹

Automation of the process of certification and technical accounting of motor roads

¹Siberian State University of Geosystems and Technologies, Novosibirsk, Russian Federation
e-mail: ss.log4533@gmail.com

Abstract. The necessity and relevance of automation for the process of certification and technical accounting of roads are considered. The regulatory documentation is analyzed: GOST 33388-2015 "Automobile roads of the general use. Requirements to conducting diagnostics and certification" and GOST R 71360-2024 "Automobile roads of general use. Technical accounting and passportization. General technical requirements". The existing methods of maintaining certification and technical accounting of roads are presented. Promising methods and means of automation are analyzed. Economic feasibility is determined. The technique for automatic recognition of road marking laser points is working out. The technique was analyzed for mobile laser scanning data obtained with Riegl VMX-250 system for roads. In conclusion, the authors draw conclusions according to which it is necessary to increase the level of automation of the process of passportization and technical accounting of motor roads.

Keywords: certification, technical accounting, roads, automation, mobile laser scanning, road marking

Введение

На сегодняшний день автодорожный транспорт является самым используемым видом транспорта в мире [1]. Он применяется для перевозки пассажиров и грузоперевозок по автомобильным дорогам.

Автомобильная дорога – это линейное сооружение, предназначенное для обеспечения автомобильного транспорта путями сообщения. Согласно данным, приведенным в [2], на 2025 год в России построено более 1,5 млн км автомобильных дорог (учитываются как асфальтированные, так и грунтовые) и продолжается строительство новых.

При такой протяженности дорог необходимо иметь карту дорожной сети для ориентирования и учета возможности проезда транспортного средства, чтобы наилучшим образом спланировать свое перемещение. Также при высокой интенсивности движения дорожного транспорта по автомобильным дорогам, последние со временем начинают разрушаться, и необходимо проводить ремонт с предварительным планированием. Для этих целей ведется паспортизация и технический учет автомобильных дорог.

Паспортизацией автомобильных дорог называют такой процесс, при котором происходит сбор сведений об автомобильной дороге для составления ее паспорта. При техническом учете дорога получает свой идентификационный номер в целях систематизации данных.

Такой процесс занимает много времени и сил, а так как протяженность автомобильных дорог только растет, то периодическая паспортизация и технический учет будут только усложняться. Это приводит к необходимости автоматизации данного процесса для сокращения временных и трудовых затрат.

Материалы и методы

Все работы по паспортизации и техническому учету делятся на 4 этапа:

- подготовительный;
- полевой;
- камеральный;
- заключительный.

На подготовительном этапе происходит получение и анализ имеющихся сведений об объекте, а также планирование предстоящих работ.

В процессе выполнения полевого этапа происходит непосредственный сбор данных о местности. Существует множество различных средств и методов сбора данных о местности, выбор которых зависит от различных факторов, к которым относятся:

- вид данных;
- требуемая точность;
- скорость сбора данных;
- объем данных;
- внешние условия сбора данных;
- требования к количеству и квалификации исполнителей;
- стоимость оборудования и самих работ.

При выполнении камеральных работ производится анализ данных, полученных на предыдущих этапах, и определение необходимых параметров для создания паспорта автомобильной дороги.

На заключительном этапе производится заполнение паспорта в установленной форме и подготовка отчетной документации для заказчика.

В зависимости от множества факторов процесс паспортизации и технического учета может занимать довольно продолжительное время.

Существует определенная периодичность проведения паспортизации и технического учета. Согласно ГОСТ Р 71360-2024 «Дороги автомобильные общего пользования. Технический учет и паспортизация. Общие технические требования», паспортизацию и технический учет автомобильных дорог делят на – первичный, повторный и текущий.

Первичную паспортизацию и технический учет необходимо проводить в течение шести месяцев после введения автомобильной дороги в эксплуатацию или при обнаружении дороги, для которой ранее паспортизацию и технический учет не проводили.

Повторную паспортизацию и технический проводят не реже одного раза в пять лет.

Текущую паспортизацию и технический проводят в случае необходимости, а ее результаты вносят один раз в год по состоянию на 1 января.

Соответственно присутствует необходимость в грамотном планировании проведения паспортизации и технического учета.

Согласно ГОСТ 33388-2015 «Дороги автомобильные общего пользования. Требования к проведению диагностики и паспортизации» техническому учету и паспортизации подлежат внешние элементы дороги, геометрические параметры элементов дороги (ширина проезжей части, угол поворота и т.д.), дорожные и защитные сооружения, объекты дорожного и придорожного сервисов, план и продольный профиль, а также техническое состояние дороги и оценка соответствия требованиям нормативных актов. Для определения каждого типа параметров дороги существуют свои средства и методы по их определению, а также нормативные требования к ним.

На текущий момент известны следующие средства и методы для получения геометрических параметров автомобильной дороги с целью паспортизации и технического учета (ГОСТ Р 71360-2024), указанные в таблице 1.

Таблица 1

Средства и методы для получения геометрических параметров автомобильной дороги

Определяемый параметр	Используемые приборы и оборудование
Протяженность автомобильной дороги (участка)	Передвижная дорожная лаборатория, лазерное сканирование
Координаты	Передвижная дорожная лаборатория, оборудование ГНСС, тахеометр, лазерное сканирование
Местоположение точек начала и конца автомобильной дороги (участка)	Оборудование ГНСС, тахеометр
Параметры геометрических элементов автомобильных дорог (за исключением ИССО)	Мерные ленты, рулетки, мерные колеса, дальномеры, лазерное сканирование, программные продукты для определения линейных размеров с видеоряда передвижной дорожной лаборатории

Параметры геометрических элементов ИССО	Мерные ленты, рулетки, мерные колеса, дальномеры, лазерное сканирование
Продольные уклоны	Передвижная дорожная лаборатория, нивелир, теодолит, лазерное сканирование
Поперечные уклоны	Передвижная дорожная лаборатория, нивелир, дорожная рейка, уровень, теодолит, лазерное сканирование
Радиусы кривых в плане	Передвижная дорожная лаборатория, теодолиты, электронные тахеометры, лазерное сканирование
Продольная ровность	Профилومتر, дорожная рейка с клиновым промерником, нивелир, лазерное сканирование
Поперечная ровность (колейность)	Передвижная дорожная лаборатория, дорожная рейка с клиновым промерником, лазерное сканирование

Все указанные средства и методы также различаются по времени их применения и стоимости. Частота применения каждого метода для одной съемки может различаться в зависимости от текущей ситуации на дороге. Поэтому, для определения точного времени и стоимости, производят планирование работ. В результате планирования определяются предстоящие финансовые и временные затраты, которые зависят от различных факторов:

- имеющиеся сведения о дороге;
- расположение дороги;
- сложность дороги;
- состояние дороги (ее целостность);
- требования заказчика;
- возможности организации-исполнителя (наличие современного оборудования, количество работников и уровень их квалификации, текущая загруженность и т.д.).

Стоимость проведения паспортизации может быть различной. Для примера можно привести компании ООО «ЛотосГЕО» [3] и «Контодор» [4], которые предлагают провести паспортизацию автомобильной дороги за 5000 и 7000 руб/км соответственно.

Время, которое тратят на весь процесс сильно варьируется и может занимать от 1 недели до нескольких месяцев или даже лет в зависимости от перечисленных факторов.

Для сокращения временных, трудовых и, соответственно, финансовых затрат необходимо автоматизировать существующие работы по паспортизации и техническому учету автомобильных дорог.

Автоматизация осуществляется посредством введения новых, более современных технических средств (оборудования) и методов (программ).

Также автоматизация повышает безопасность исполнителя и избавляет от необходимости в наличии большого числа работников с высокой квалифика-

цией, т.к. деятельность человека в проведении работ переходит к роботу, который выполняет все сложные вычисления, определения и принимает физическую нагрузку на себя, а задачей человека становится контроль самого робота на случай возникновения каких-либо неисправностей или допущения ошибок. Для каждого из перечисленных этапов можно выделить свои возможные методы по автоматизации.

Наиболее современным методом съемки с целью автоматизации процесса паспортизации и технического учета автомобильных дорог для получения их геометрических параметров является мобильное лазерное сканирование (МЛС). МЛС относится к группе методов дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ). Методы ДЗЗ позволяют получать большой объем данных за короткий промежуток времени. Среди методов ДЗЗ для решения задачи паспортизации также находят применение методы стереофотограмметрической фотосъемки: наземная, космическая и аэрофотосъемка. По данным космической фотосъемки определяют местоположение дорог, а также некоторые геометрические параметры.

Для осуществления полевых работ также могут применять роботизированные приборы, которые способны самостоятельно анализировать окружающую обстановку (температуру воздуха, влажность, освещенность и т. д.), устанавливать соответствующие настройки и производить съемку. Также ведутся разработки по созданию оборудования, которое может самостоятельно производить собственное перемещение по объекту [5, 6].

На этапе камеральных работ для ускорения процесса обработки данных применяется современное специализированное программное обеспечение (ПО), позволяющее автоматизировано определять искомые параметры.

Основная задача автоматизации на этапе камеральной обработки состоит в распознавании элементов дороги по собранным данным и определению необходимых параметров.

Одним из элементов дороги, по которому можно определить отдельные параметры дороги, является ее разметка. Исследования по определению дорожной разметки по данным лазерного сканирования проводились в многих работах, например в [10] и [11]. Самой распространенной информацией, по которой определяется дорожная разметка, является интенсивность ее точек лазерных отражений (ТЛО) [12].

На возможность и точность автоматизированного определения дорожной разметки негативное влияние оказывают следующие факторы:

- повреждения дорожного полотна;
- повышенная загрязненность;
- разрывы или отсутствие линии разметки дороги;
- наличие мертвых зон на откосах [7];
- наличие растительности, попавшей в поле зрения сканера [8];
- и т.д.

Для ослабления влияния перечисленных выше факторов можно использовать различные математические алгоритмы и разрабатывать соответствующие

методики. На рис. 1 приведена разработанная методика распознавания дорожной разметки по данным МЛС.



Рис. 1. Методика распознавания дорожной разметки по данным МЛС

Разработанная методика включает несколько методов распознавания и классификации [9]. Для исключения точек, находящихся на расстоянии более половины ширины дороги перпендикулярно направлению движения системы МЛС в

плановом положении с правой стороны, используется метод классификации по центральной линии, для которого за центральную линию принята траектория, от которой берутся расстояния с двух сторон в плане в пределах задаваемого ограничения по высоте.

Классификация земной поверхности производится через метод классификации земли, реализованного через алгоритм Аксельсона [13].

Проецирование траектории на земную поверхность реализуется посредством опускания линейного элемента на классифицированные точки земли.

Классификация горизонтальных поверхностей выполняется на основе применения информации о вычисленных векторах нормалей. Анализируются максимальные отклонения единичного вектора от вертикали.

При классификации точек по высоте относительно траектории движения системы МЛС исключаются ТЛО, высота которых больше задаваемого пользователем значения.

Повторная классификация относительно траектории производится через метод классификации по центральной линии, в котором исключаются точки, находящиеся с правой стороны от траектории движения системы МЛС на заданном расстоянии в плане и при заданном изменении высоты.

Для классификации точек по интенсивности пользователем в результате интерактивного анализа задается подходящий диапазон значений. Для этого пользователем сравнивается интенсивность дорожной разметки и дорожного полотна (без дорожной разметки) участка дороги.

Исключение изолированных точек производится через метод классификации изолированных точек, для которого задаются радиус поиска и минимальное количество рядом стоящих точек. Значения параметров определяются эмпирически.

После распознавания точек, принадлежащих дорожной разметке, производится векторизация ее границ для получения искомым параметров. Для этого ТЛО дорожной разметки предварительно могут быть сконвертированы в растровый формат [14].

Результаты

Для исследования методики распознавания дорожной разметки были применены данные МЛС, полученные с помощью системы Riegl VMX-250 на участок автомобильной дороги – улица Бориса Богаткова г. Новосибирск (рис. 2).



— траектория движения системы МЛС

Рис. 2. Исходный массив ТЛО в режиме отображения по интенсивности

Для классификации точек, принадлежащих дорожной разметке, сначала выполнялось исключение точек, находящихся на расстоянии более половины ширины дороги, равной 10 м, перпендикулярно направлению движения системы МЛС в плановом положении, в результате чего сразу исключался большой объем данных (рис. 3). При классификации от центральной линии задавалось ограничение по высоте в интервале от минус 2 м до 0 м с целью исключить точки, которые не принадлежат дорожному полотну.

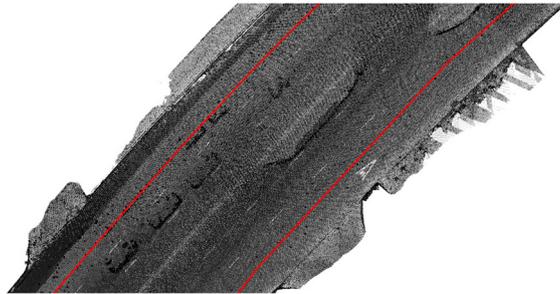


Рис. 3. Результат исключения лишних данных

Далее производилась классификация земли. В результате были получены точки, принадлежащие земной поверхности (рис. 4).

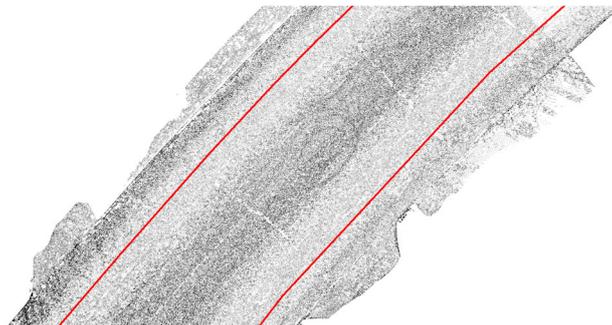


Рис. 4. Земная поверхность

Затем выполнялось проецирование траектории на земную поверхность. На рис. 5 и 6 показаны линия траектории и земная поверхность до проецирования и после проецирования соответственно.

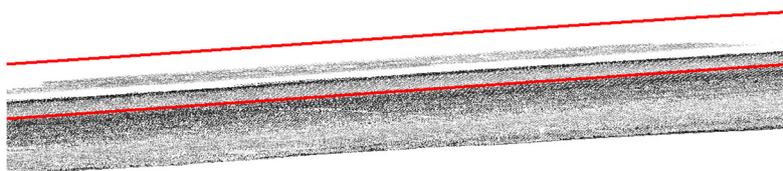


Рис. 5. Земная поверхность до проецирования

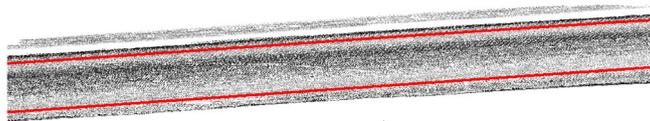


Рис. 6. Земная поверхность после проецирования

После проецирования траектории на земную поверхность выполнялось вычисление векторов нормалей относительно вертикальной оси. На рис. 7 показан массив ТЛО, отображенный в режиме по значениям векторов нормалей.

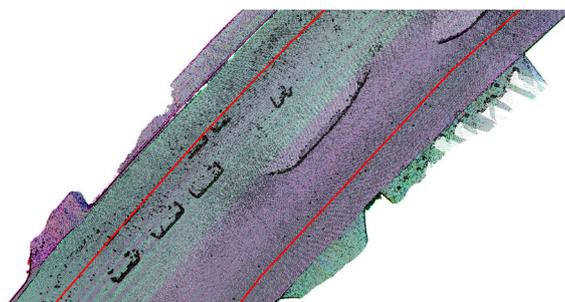


Рис. 7. Массив ТЛО в режиме отображения по значениям векторов нормалей

Далее производилось вычисление расстояний по высоте от земной поверхности до других точек. Для этого оптимальный диапазон расстояний находится в интервале от 0,020 м до 0,500 м. В результате чего исключаются все точки, которые расположены выше дорожного полотна.

На рис. 8 показан массив ТЛО в режиме отображения по высоте от уровня поверхности земли

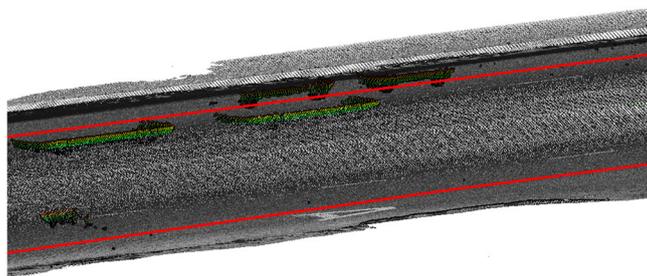


Рис. 8. Массив ТЛО в режиме отображения по высоте от уровня поверхности земли

Дальнейшая классификация массива ТЛО выполнялась относительно вычисленных векторов нормалей. Задавалось допустимое отклонение вектора нормали от вертикального направления, равное 4° . В результате исключались поверхности, не принадлежащие горизонтальной плоскости. На рис. 9 показано вертикальное сечение дороги, бордюра и тротуара до классификации и после нее.



Рис. 9. Вертикальное сечение бордюра:
а) до классификации; б) после классификации

Потом производилось исключение точек по высоте относительно уровня земной поверхности и исключение точек по высоте относительно траектории движения системы МЛС, в результате чего исключались точки, находящиеся выше дорожного полотна (рис. 10).

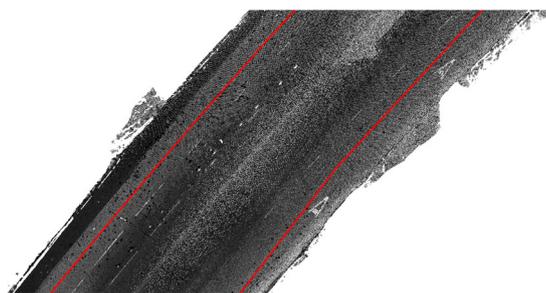


Рис. 10. Дорожное полотно

Затем выполнялась классификация точек по интенсивности. Для исследуемого участка дороги диапазон значений интенсивности был выбран от 25000 до 40000. В результате были исключены точки, не попавшие в диапазон интенсивности дорожной разметки. На рис. 11 показаны ТЛО дорожной разметки.

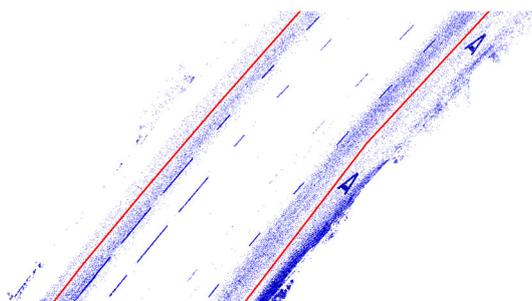


Рис. 11. Результат распознавания ТЛО дорожной разметки

На последнем этапе производилось исключение изолированных точек. Критерием исключения таких точек являлись: минимальное количество рядом стоящих точек не меньше трех в пределах радиуса поиска 0,05 м.

На рис. 12 показан результат исключения ТЛЮ на участках с их низкой плотностью размещения. В результате в классе точек остаются преимущественно те, которые принадлежат дорожной разметке.

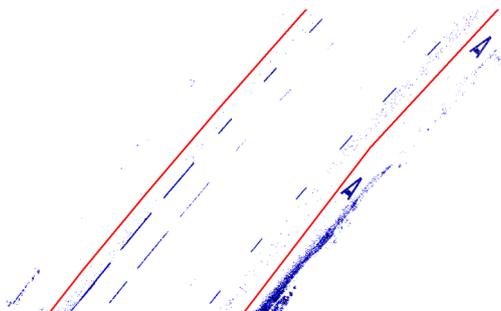


Рис. 12. Дорожная разметка

Обсуждение

В ходе работы было определено, что на качество работы приведенной методики негативно влияют несколько факторов.

Во-первых, это непараллельность траектории движения системы МЛС направлению бордюра, из-за чего остаются лишние точки, не принадлежащие автомобильной дороге за пределами бордюра в плане. В случае параллельности можно установить расстояние, равное расстоянию от траектории до бордюра. Также непараллельность возникает из-за изменения ширины дороги по мере движения системы МЛС, из-за чего выдержать параллельность в процессе съемки невозможно.

Во-вторых, это затертость дорожной разметки, в результате чего в методе классификации изолированных точек исключаются точки, принадлежащие дорожной разметке из-за низкой плотности их расположения.

В-третьих, неровность дорожного покрытия негативно сказывается на определении горизонтальной поверхности, что приводит к необходимости увеличивать допустимое отклонения вектора нормали от вертикального направления.

В-четвертых, влияет наличие посторонних объектов на поверхности дороги, попадающих в диапазон интенсивности дорожной разметки. Это сказывается на результате классификации по интенсивности, в результате чего при высокой плотности ТЛЮ, принадлежащих такому объекту, часть его точек включается в класс дорожной разметки.

Наличие посторонних объектов (автомобилей), загораживающих дорожную разметку, приводит к возникновению ошибки, при которой в результате реализации предложенной методики будет принято, что разметка на таких участках отсутствует.

В-пятых, влияет изменение общего показателя интенсивности по мере перемещения системы МЛС из-за различий в углах падения лазерного луча на дорож-

ное полотно, в результате чего на некоторых участках ТЛЮ дорожной разметки классифицируются некорректно. Это требует подбора индивидуального диапазона интенсивности для каждого отдельно участка.

В-шестых, при классификации от центральной линии необходимо учитывать, что уровень траектории по высоте относительно уровня бордюра и тротуара постоянно меняется.

Для решения возникших проблем можно усовершенствовать приведенную методику (брать параметр интенсивности не по абсолютному значению, а по относительному среднему на участке дороги; применение моделей разметки, сохраненной в библиотеке ПО TerraScan) или применить другой. В работе [11] автор предлагает выполнить классификацию бордюров для определения положения дорожного полотна, а в работе [12] предложено выполнять обработку облака точек лазерного сканирования классифицируя их относительно цветов.

Приведенную в работе методику можно дополнить определением бордюров на основе перепада высот и исключить все точки, не принадлежащие дорожному полотну. Также дополнительно можно применять информацию о истинных цветах, полученных со снимков, чтобы повысить достоверность распознавания точек, принадлежащих дорожной разметке.

Заключение

В связи с внедрением новых методов геодезической съемки, одним из которых является МЛС, значительно возрастает роль разработки новых автоматизированных методик и алгоритмов обработки получаемых данных с целью снижения трудоемкости решения задачи паспортизации и технического учета автомобильных дорог. В настоящее время уровень автоматизации находится на достаточно высоком уровне, но при этом присутствует необходимость и возможность его повышения. Дорожная разметка – это один из элементов автомобильных дорог, который позволяет определить ряд их параметров. Разработанная методика распознавания дорожной разметки позволяет выделить ее ТЛЮ на дорогах различной категории. Для этого необходимо уточнять значения параметров методов, входящих в состав методики, для дорог, отличных от той, которая анализировалась в приведенном исследовании.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Щербанин Ю.А. Мировой транспорт: текущее состояние и корректировка целей // Экономическая политика России в межотраслевом и пространственном измерении : Материалы VI конференции ИНП РАН и ИЭОПП СО РАН по межотраслевому и региональному анализу и прогнозированию (Россия, г. Томск, 21–22 марта 2024 г.) – Новосибирск. – С. 144–147.
2. Росавтодор. Официальный сайт дорожного агентства [Электронный ресурс]. – URL: <https://rosavtodor.gov.ru/> (дата обращения: 01.05.2025).
3. ООО ЛотосГЕО. Официальный сайт компании, занимающейся инженерными изысканиями для строительства и проектными работ [Электронный ресурс]. – URL: <https://lotosgeo.ru/uslugi/dorozhnyj-departament/pasportizaciya-dorog> (дата обращения: 28.11.2024).
4. ООО Контодор. Официальный сайт компании, занимающейся научными исследованиями и разработками в области естественных и технических наук [Электронный ресурс]. – URL: <https://kontodor.ru/pasportizaciya-avtomobilnykh-dorog/> (дата обращения: 28.11.2024).

5. Тыщенко В. В., Бульбаш Н. В., Феоктистов Д. К., Смирнова О. Б. К вопросу о роботизации / В. В. Тыщенко, Н. В. Бульбаш, Д. К. Феоктистов, О. Б. Смирнова // Научное и техническое обеспечение АПК, состояние и перспективы развития : сборник VII Международной научно-практической конференции. – 2022. – С. 507–510.
6. Власов С. М., Бойков В. И., Быстров С. В., Григорьев В. В. Бесконтактные средства локальной ориентации роботов: учебн.-метод. пособие. – Санкт-Петербург : Изд. ИТМО, 2017. – 172 с.
7. Алтынцев М. А., Макаров А. М. Проблемы автоматизированного определения характерных линий автомобильных дорог по данным лазерного сканирования // Интерэкспо ГЕО-Сибирь 2018. XIV Междунар. науч. конгр.: Междунар. науч. конф. «Геодезия, геоинформатика, картография, маркшейдерия»: сб. материалов (Новосибирск, 23-27 апреля 2018 г.). – Новосибирск: СГУГиТ, 2018. – С. 96–104.
8. Каркокли Хамид Маджид Сабер Влияние плотности размещения соответственных точек на результаты уравнивания данных мобильного лазерного сканирования // Интерэкспо ГЕО-Сибирь 2021. XVII Междунар. науч. конгр.: Междунар. науч. конф. «Геодезия, геоинформатика, картография, маркшейдерия»: сб. материалов (Новосибирск, 19-21 мая 2021 г.). – Новосибирск: СГУГиТ, 2021. – С. 65–74. – DOI: 10.33764/2618-981X-2021-1-65-74.
9. TerraScan User Guide. Руководство пользователя по работе с ПО TerraScan [Электронный ресурс]. – URL: <https://terrasolid.com/guides/tscan/index.html> (дата обращения: 01.05.2025).
10. Jaromir Landa, David Prochazka, Automatic Road Inventory Using LiDAR // Procedia Economics and Finance, 2014, – Vol 12. – P 363-370. – DOI 10.1016/S2212-5671(14)00356-6.
11. Bin Yu, Yuchen Wang, Qihang Chen, Xiaoyang Chen, Yuqin Zhang, Kaiyue Luan, Xiaole Ren, A review of road 3D modeling based on light detection and ranging point clouds // Journal of Road Engineering, 2024, – Vol 4. – Issue 4. – P 386-398. – DOI 10.1016/j.jreng.2024.04.009.
12. Mario Soilan, Diego Gonzalez-Aguilera, Ana del-Campo-Sanchez, David Hernandez-Lopez, Susana Del Pozo, Road marking degradation analysis using 3D point cloud data acquired with a low-cost Mobile Mapping System // Automation in Construction, 2022, – Vol 141. – P 11. – DOI 10.1016/j.autcon.2022.104446.
13. Axelsson P. DEM generation from laser scanner data using adaptive TIN models // International Archives of ISPRS. – 2000. – Vol. XXXIII-4. – P. 111–118.
14. Pankaj Kumar, Conor P. McElhinney, Paul Lewis, Timothy McCarthy, An automated algorithm for extracting road edges from terrestrial mobile LiDAR data // ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing, 2013, – Vol 85. – P 44-55. – DOI 10.1016/j.isprsjprs.2013.08.003.

© В. С. Беляков, М. А. Алтынцев, 2025