

В. С. Беляков^{1✉}, М. А. Алтынцев¹

Анализ методов определения границ дорожного покрытия автомобильных дорог по данным мобильного лазерного сканирования

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

Аннотация. Рассматривается возможность нахождения оптимального решения для автоматизации процесса определения границ дорожного покрытия автомобильных дорог по данным мобильного лазерного сканирования. Обсуждается задача предварительной обработки данных мобильного лазерного сканирования перед выполнением поиска линий бордюра с помощью методов, реализованных в различном программном обеспечении. Были рассмотрены методы распознавания линейных элементов в облаке точек, реализованные в следующем программном обеспечении: TerraScan компании Terrasolid, TopoDOT компании TopoDOT LLC и ТИМ КРЕДО 3D СКАН компании Кредо-Диалог. Приводятся особенности рассмотренных методов, обсуждаются варианты повышения качества результата с помощью применения комплекса различных автоматизированных методов. Рассматривается возможность применения итерационного подхода для решения данной задачи. Сделан вывод о зависимости результатов распознавания с помощью различных методов от качества обработки исходных данных, выбранного метода и параметров, ситуации на дороге, плотности ТЛО на характерных участках облака, точности уравнивания данных МЛС, а также об использовании характерных участков облака точек лазерного отражения для работы реализованных методов и необходимости контроля пользователем получаемых результатов распознавания.

Ключевые слова: автоматизация, мобильное лазерное сканирование, автомобильные дороги, программное обеспечение, бордюры

V. S. Belyakov^{1✉}, M. A. Altyntsev¹

A comparative analysis of methods for road pavement boundary detection based on mobile laser scanning data

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

Abstract. The possibility of finding an optimal solution for automating the process of determining road pavement boundaries using mobile laser scanning data is considered. The task of preprocessing mobile laser scanning data before searching curb lines using methods implemented in various software is discussed. There were considered methods for recognition of linear elements in point clouds implemented in next software: TerraScan by Terrasolid, TopoDOT by TopoDOT LLC, and TIM KREDO 3D SCAN by Credo-Dialog. The features of these methods are described, and options for improving the quality of results through the use of a combination of various automated methods are discussed. The possibility of using an iterative approach to solve this problem is considered. A conclusion about the dependence of the recognition results using various methods on the quality of

processing the initial data, the selected method and parameters, the situation on the road, the point cloud density in characteristic areas, the quality of mobile laser scanning data adjustment, as well as the use of point cloud characteristic areas for the operation of the implemented methods and the need for user manual control over the recognition results.

Keywords: automation, mobile laser scanning, roads, software, curbs

Введение

Для обеспечения современных нужд мониторинга и диагностики автомобильных дорог необходимо получать данные с высокой точностью и оперативностью. Больше всего критериям точности и оперативности удовлетворяет метод мобильного лазерного сканирования (МЛС). За счет высокой плотности облака точек лазерных отражений (ТЛО), получаемые методом МЛС, оптимальны для определения геометрических параметров автомобильных дорог [1].

Наибольшую сложность представляет процесс обработки данных МЛС, т. к. в результате полевого этапа специалист, производящий работы, получает большой объем данных, который содержит в себе как информацию, необходимую для получения искомого результата, так и лишние данные, к которым могут относиться люди, животные, транспорт, временные объекты и многое другое [2]. Такие объекты необходимо исключать из облака точек для упрощения дальнейшей обработки, заключающейся в распознавании отдельных объектов. Распознавание объектов обычно представляет собой длительный процесс, в котором специалист в специальном программном обеспечении (ПО), позволяющем обрабатывать облака точек, анализирует полученное облако точек по различным признакам (геометрические параметры, интенсивность, цвет). За счет такого анализа специалист в интерактивном режиме определяет наличие требуемого объекта или его элемента в облаке точек, выделяет его посредством векторизации или вписывания подходящего геометрического примитива. При большой протяженности территории сканирования возникает необходимость автоматизировать процесс распознавания.

Сегодня существует множество ПО, позволяющего производить обработку данных лазерного сканирования. К таким ПО можно отнести IndorCAD, IndorCloud компании ИндорСофт, nanoCAD ReCloud компании Нанософт, Autodesk ReCap компании Autodesk, Leica Cyclone компании Leica, TerraScan компании Terrasolid, ТороDOT компании ТороDOT LLC, ТИМ КРЕДО 3D СКАН компании Кредо-Диалог и другие. Такие ПО имеют много сходств и различий в процессе обработки данных лазерного сканирования от их загрузки и операций предварительной обработки до распознавания в облаке точек искомым 3D-объектов и определения их геометрических параметров [3]. Для ускорения этого процесса разработчики ПО задействуют различные методы и алгоритмы, в результате чего пользователь совершает минимально возможное количество операций для получения необходимого результата. Точность и достоверность результатов автоматического распознавания объектов в таком ПО сильно зависят как от внешних условий выполнения лазерного сканирования, так и от выбранных методов и алгоритмов обработки данных. Но при одних и тех же внешних условиях выполнения измерений при распознавании одного объекта в различном ПО могут быть получены качественно разные резуль-

таты. Так для получения наиболее качественного результата возникает необходимость нахождения наилучшего решения для автоматизации процесса распознавания объектов в облаке точек.

Одним из объектов распознавания в процессе обработки данных МЛС является покрытие дорожной одежды. Покрытие дорожной одежды (дорожное покрытие) – верхняя часть дорожной одежды, состоящая из одного или нескольких слоев, непосредственно воспринимающая усилия от колес транспортных средств и подвергающаяся прямому воздействию атмосферных факторов [4]. Определение границ дорожного покрытия служит важным этапом для дальнейшего определения различных параметров автомобильной дороги (ширина проезжей части, наличие примыкающих дорог). Также определение границ дорожного покрытия может служить промежуточным этапом распознавания других объектов (дорожная разметка, бордюры, дорожные знаки, фонарные столбы и др.).

Материалы и методы

Для автоматизированного нахождения границ дорожного покрытия автомобильной дороги по облаку точек может применяться различная информация: пространственная, интенсивность и номер отраженного сигнала. Пространственная информация позволяет отследить изменение формы поверхности (бордюрные камни). На основе изменения интенсивности отраженного сигнала можно отделить обочину. Также все перечисленные виды информации могут быть использованы в комплексе – например, для выделения травяных насаждений.

Для автоматизированного определения границ дорожного покрытия в облаке точек сперва выполняется предварительная обработка данных. Исключаются ТЛО, находящиеся на расстоянии менее половины ширины дороги перпендикулярно направлению движения системы МЛС в плановом положении с левой стороны, ТЛО, находящиеся на расстоянии более половины ширины дороги перпендикулярно направлению движения системы МЛС в плановом положении с правой стороны. Также исключаются ТЛО, находящиеся выше линии траектории. Данные действия выполняются для ускорения процесса обработки данных и уменьшения количества границ дорожного покрытия, найденных ошибочно.

Для анализа методов обработки данных МЛС в целях определения границ дорожного покрытия было выполнено распознавание бордюров по облаку точек одного и того же участка дороги в различном ПО обработки данных лазерного сканирования. На рис. 1 представлены исследуемые данные МЛС (облако точек и траектория), полученные для участка автомобильной дороги, расположенной в черте города.

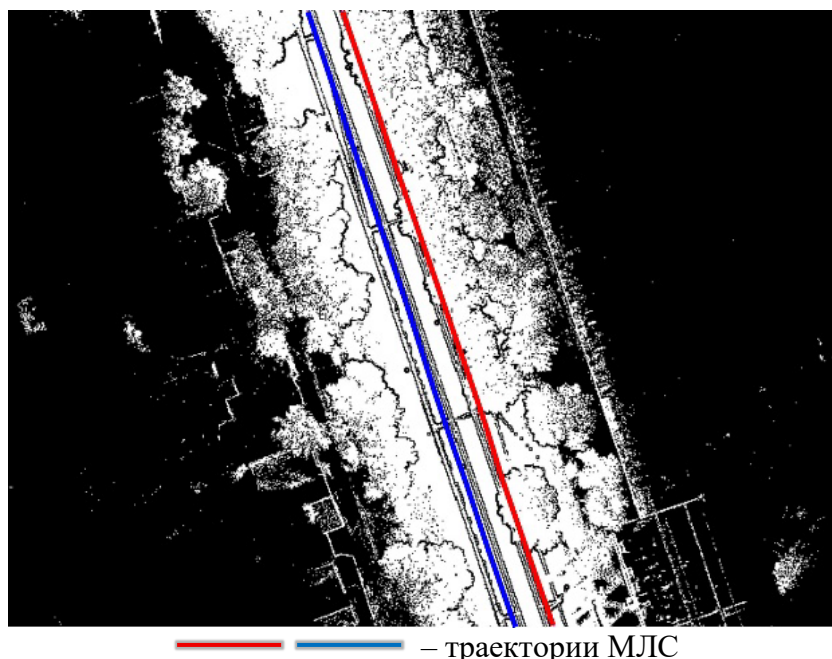


Рис. 1. Облако точек и траектории МЛС в ПО TerraScan

В ПО TerraScan применялся метод поиска бордюров вдоль элемента [5]. Для работы этого метода необходим линейный элемент. Таким элементом может быть траектория МЛС.

После выполнения предварительной обработки были исключены лишние ТЛО и применен метод поиска бордюров вдоль элемента с заданием траектории в качестве линейного элемента. В результате метод распознает линии верха и низа бордюра. На исследуемом участке было найдено 80 % линий бордюров, 5 % из которых было обнаружено ошибочно.

В результате работы метода можно выделить следующие ошибки. На рис. 2, *а* линия бордюра была ошибочно определена на земляной насыпи. Также присутствуют места разрыва линии бордюра (рис. 2, *б*). Из рис. 2, *б* видно, что найденная линия не всегда проходит по бордюру (не по углу бордюра и не на стыке бордюра и дороги). На участках дороги, где присутствуют сужение, расширение или несовпадающий с направлением линии траектории поворот, линия бордюра не распознала (рис. 2, *в*, *г*). Также присутствуют участки, где линия бордюра дублируется в одном и том же месте (рис. 2, *д*).

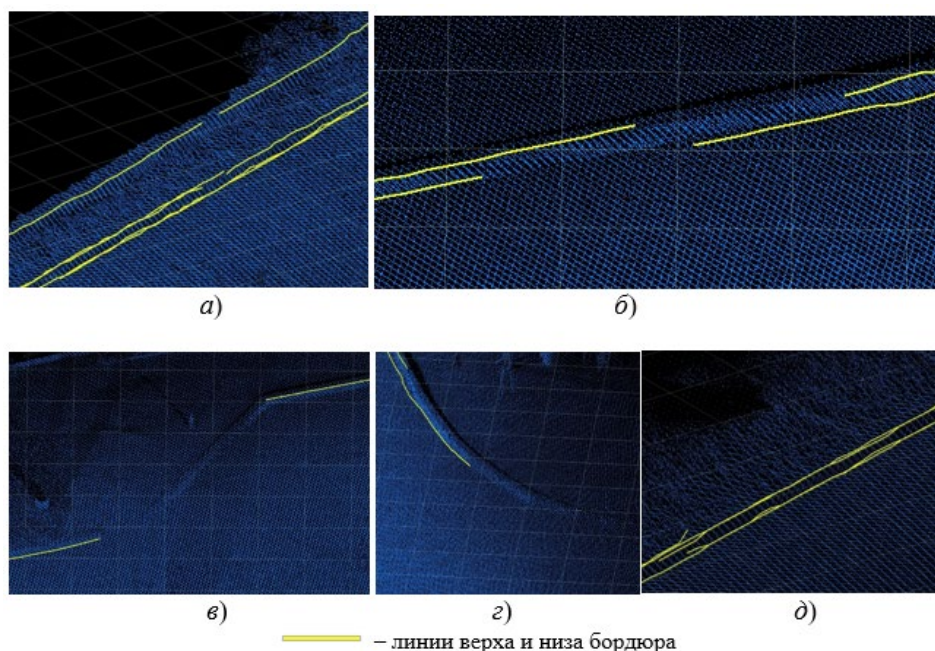


Рис. 2. Ошибки распознавания:

а) линия бордюра на земляной насыпи; б) разрыв линии бордюра; в) участок расширения дороги; г) поворот дороги; д) дублирование линии бордюра

Для обработки облаков точек в интересах дорожного хозяйства было применено ПО ToroDOT [6]. В нем присутствует метод распознавания линейных элементов, который был использован для распознавания бордюров. Этот метод требует наличия шаблона, создаваемого по поперечному сечению вдоль элементов. Для распознавания бордюров был создан их шаблон профиля в месте их прохождения. В поперечном сечении бордюра пользователь векторизует линию его профиля и указывает характерные точки, через которые будут проходить распознаваемые линии. На рис. 3 показан результат создания шаблона профиля бордюра. В качестве характерных точек отмечался верх и низ бордюра.

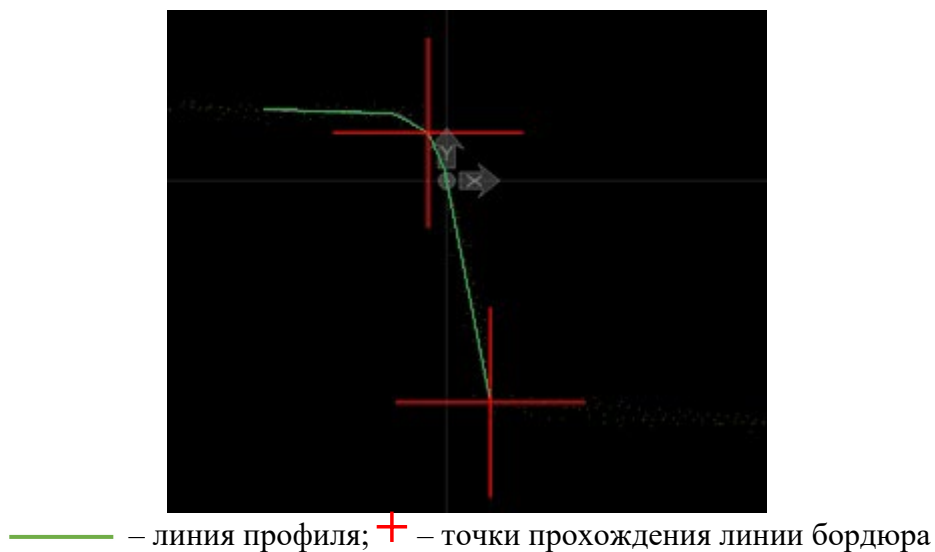


Рис. 3. Результат создания шаблона профиля бордюра

Далее на основе созданного шаблона с помощью метода распознавания линейных элементов были векторизованы линии верха и низа бордюра (рис. 4).

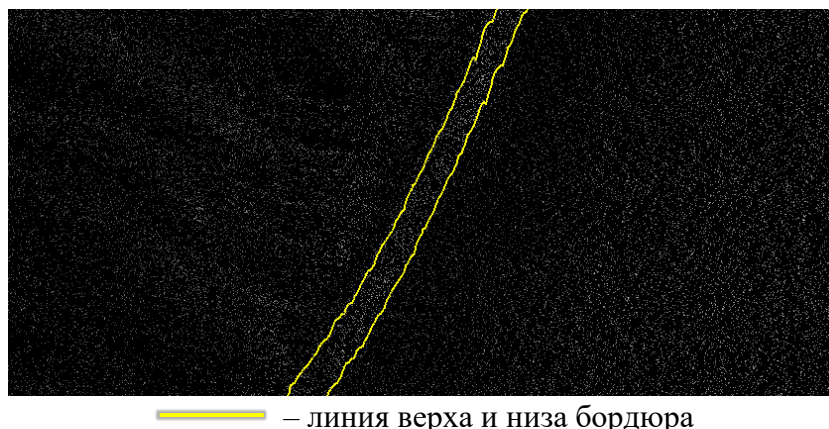


Рис. 4. Результат распознавания линий бордюра в ПО ТороDOT

В результате работы метода было распознано 90% линий бордюров, 10 % из которых было найдено ошибочно. Можно отметить, что на многих участках происходит разрыв бордюра (поворот дороги, спуск с тротуара на дорогу для пешеходов), но метод векторизует сплошную линию, не делая разрывы до окончания поиска. Также результат распознавания бордюра зависит от направления поиска.

В последних версиях ПО ТИМ КРЕДО 3D СКАН разработан метод для распознавания бордюров вдоль элементов [7]. До применения метода необходимо рассчитать нормали, распознать точки поверхности земли, построить цифровую модель рельефа (ЦМР) и относительно ее уровня по высоте классифицировать остальные ТЛО. Результат создания ЦМР показан на рис. 5.

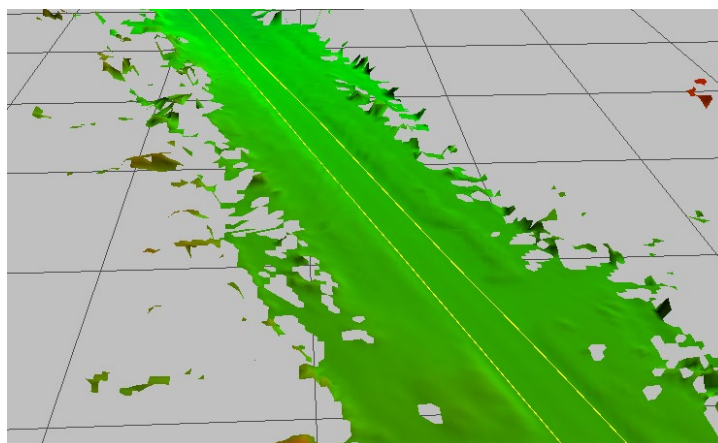


Рис. 5. ЦМР

После выполнения подготовительных операций были исключены лишние ТЛО и запущен метод распознавания бордюров вдоль элементов с заданием траектории, которой послужила ось дороги. В результате были распознаны линии

бордюра (рис. 6). На исследуемом участке было найдено 70% линий бордюров, 5 % из которых было определено ошибочно.

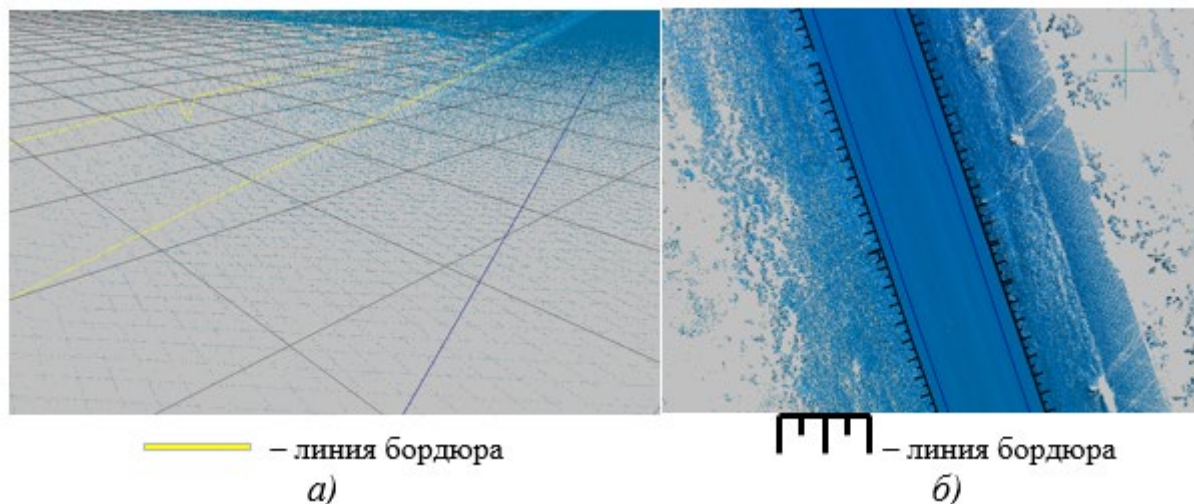


Рис. 6. Результат распознавания линии бордюра:

а) в «3D окне»; *б)* в окне «План»

На рис. 6, *а* линия бордюра дублируется. На рис. 6, *б* линия бордюра с правой стороны дороги определена повторно в одном и том же месте. На рис. 7 бордюр распознан неверно.

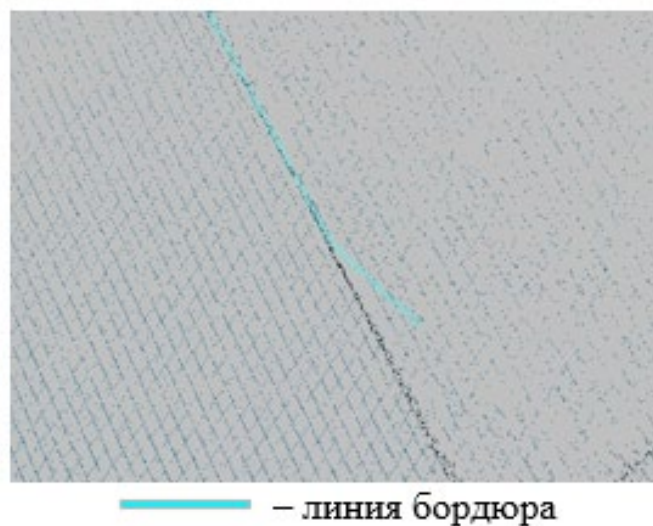


Рис. 7. Ошибочно распознанная линия бордюра

Из рис. 8 и 9 видно, что присутствуют линии бордюров, которые не были распознаны. Среди них можно выделить линии на поворотах дороги и на парковочном кармане.

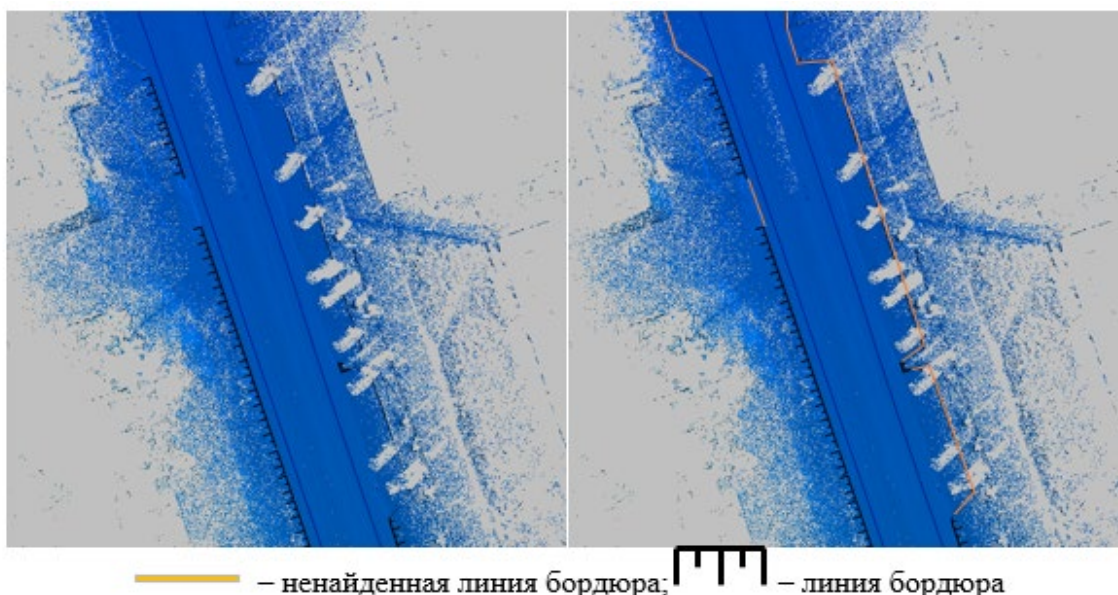


Рис. 8. Ненайденные линии бордюров вдоль прямого отрезка дороги

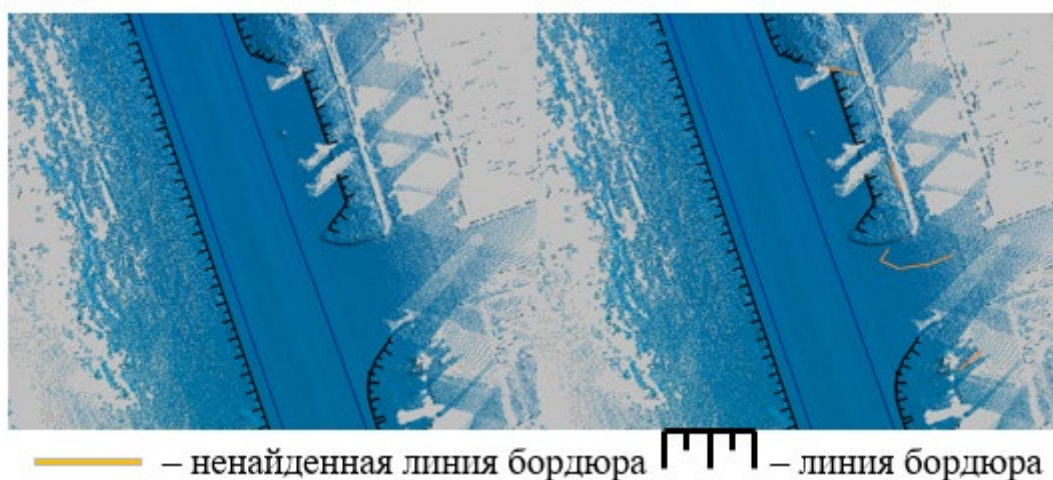


Рис. 9. Ненайденные линии бордюров на повороте дороги

Также для решения задачи распознавания бордюров можно выделить реализованный в ПО ТИМ КРЕДО 3D СКАН метод поиска профиля по первым двум точкам. Для этого необходимо указать первые две точки бордюра с построением профиля в сечении, после чего будет выполнено распознавание по заданному профилю в направлении указанных двух точек (рис. 10).

Линия распознается более точно, в отличие от предыдущего инструмента, но распознавание происходит только в направлении заданной линии и до первого разрыва линии бордюра различными объектами (растительность, земляная насыпь) или теневой зоны.

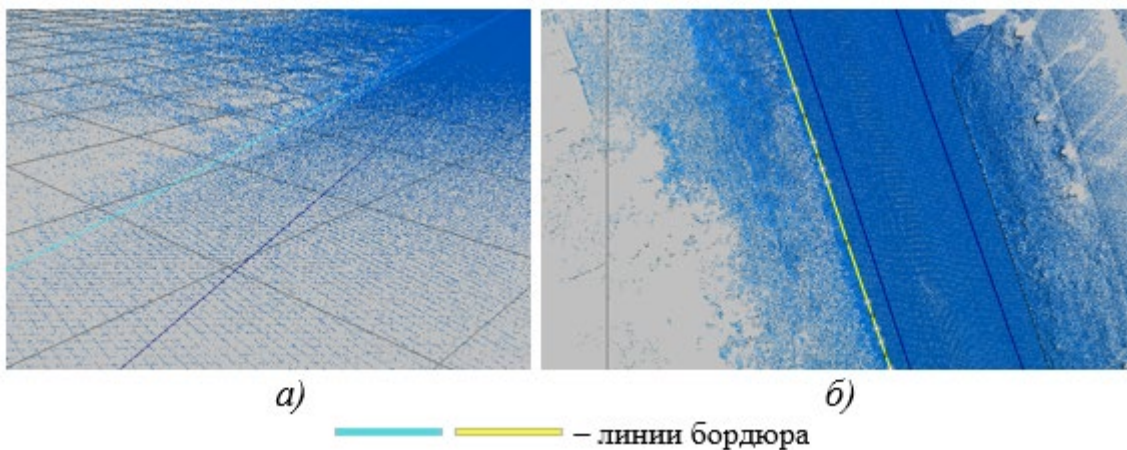


Рис. 10. Линия бордюра:

а) в «3D окне»; б) в окне «План»;

Обсуждение

В результате анализа результатов распознавания бордюров в разных ПО можно выделить общие особенности существующих методов. Во всех случаях предпочтительно иметь линейный элемент, вдоль которого метод распознавания производит поиск. В качестве такого линейного элемента удобно применять линию траектории, т. к. она является частью данных, полученных в результате выполнения полевого этапа МЛС. В таком случае линию траектории можно рассматривать исключительно как геометрический элемент.

При выборе траектории как линейного элемента для поиска бордюра качество его распознавания будет зависеть от формы траектории. Если из-за различных ошибок спутниковых определений, возникающих при выполнении полевого этапа МЛС, линия траектории может содержать резкие углы поворота. Поэтому траекторию необходимо сглаживать перед применением методов распознавания.

Качество результата поиска бордюров зависит от выбранного метода предварительной классификации ТЛО для исключения областей, которые не принадлежат бордюру. С целью повышения качества классификации можно применять соответствующие методы повторно, изменяя значения их параметров. Каждое повторное применение позволит сузить зону поиска бордюра в облаке точек и тем самым снизить вероятность неверного распознавания линий бордюров [8].

Также можно применить итерационный подход. В начале выполняется поиск бордюра с низкой точностью относительно траектории МЛС. Далее пользователь интерактивно удаляет ошибочно распознанные линии бордюра и восстанавливает в правильно распознанных разрывы. После этого снова производит поиск бордюра, но уже относительно распознанной линии с предварительно выполненной фильтрацией точек и указанием более точных параметров поиска.

В ПО TerraScan и в ПО ТИМ КРЕДО 3D СКАН при автоматизированном поиске бордюра вдоль линейного элемента (траектории) получаются разные результаты. В первом случае происходит определение верха и низа бордюра, а во

втором – линия строится «произвольно» относительно уровня верха и низа. В первом случае в качестве границы дорожного покрытия можно взять только нижнюю линию, тогда как во втором случае при поперечном наклоне появляется ошибка определения границы в плане. Следовательно данный метод лучше реализован в ПО TerraScan.

Можно выделить различия в методах распознавания линии бордюра по профилю в ПО ТороDOT и ПО ТИМ КРЕДО 3D СКАН. В первом случае происходит построение сплошной линии, игнорируя препятствия и разрывы до конца заданной области поиска, а во втором случае происходит построение линии до первого препятствия или разрыва, после чего построение прекращается. В качестве оптимального решения можно выполнить комбинацию этих методов следующим образом. В ПО ТороDOT выполнить нахождение сплошной линии, проходящей через бордюр, а затем в ПО ТИМ КРЕДО 3D СКАН через точки этой линии выполнять дополнительное построение линии бордюра с учетом наличия разрывов и препятствий.

Заключение

В статье были рассмотрены методы распознавания линейных элементов по облаку точек, реализованные в разном ПО, с целью определения границ дорожного покрытия. В качестве исходных данных были выбраны данные МЛС одного участка дороги. Были выделены недостатки каждого метода в разных ПО и предложены варианты оптимального решения.

Результаты применения рассмотренных методов распознавания зависят от качества предварительной обработки данных МЛС (фильтрации, уравнивания и классификации), задаваемых значений параметров методов, ситуации на дороге (сломанный бордюрный камень, наличие растительности, посторонних предметов, теневых зон и др.), плотности облака ТЛО на характерных участках дороги.

Рассмотренные методы распознавания используют для определения границ дорожного покрытия, в частности линий бордюров, пространственную геометрическую информацию – анализируют форму поверхностей. Поиск границ дорожного покрытия по резкому изменению интенсивности отраженного сигнала не реализовано методами существующего описанного ПО.

Для решения задачи распознавания границ дорожного покрытия по облаку точек необходимо разработать алгоритм, который включил бы в свой состав различные методы распознавания объектов и в совокупности позволил бы учесть внешние условия выполнения измерений, геометрические пространственные характеристики объектов, информацию об интенсивности отраженного сигнала и порядковом номере отражения, требования к точности и качеству результата [9].

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Сарычев Д. С. Мобильное лазерное сканирование. САПР и ГИС автомобильных дорог. 2013. № 1. С. 36–41.
2. Алтынцев М. А. Теоретические основы и методология интеграции данных дистанционного зондирования Земли для развития наземной транспортной инфраструктуры: дис. ... д-ра. техн. наук. Новосибирск, 2025. 298 с.

3. Сальников В. Г., Горобцов С. Р. Применение дополненной реальности при визуализации готовых инженерных решений. Российский форум изыскателей: сб. докладов IV Международной научно-практической конференции (Москва, 15–16 сентября 2022 г). Москва, 2022. – С. 107–110.
4. ГОСТ Р 59120-2021 Дороги автомобильные общего пользования. Дорожная одежда. Общие требования. Введ 2021–05–01. М.: ФАУ "РОСДОРНИИ", 2021. – 22 с.
5. TerraScan User Guide. URL: <https://terrasolid.com/guides/tscan/index.html> (дата обращения: 01.05.2026).
6. TopoDOT Solution. URL: <https://www.topodot.com/> (дата обращения: 01.05.2026).
7. 3D СКАН. Руководство пользователя (для начинающих) к версии 2025.2. URL: https://download.credo-dialogue.ru/Documentation/TC/TC_3D_scan.pdf (дата обращения: 03.05.2026).
8. Беляков В. С., Алтынцев М. А. Автоматизация процесса паспортизации и технического учета автомобильных дорог. Интерэкспо ГЕО-Сибирь. XXI Международный научный конгресс, 21– 22 мая 2025 г., Новосибирск : сборник материалов в 8 т. Т. 1: Международная научная конференция «Геодезия, геоинформатика, картография, маркшейдерия». – Новосибирск : СГУГиТ, 2024. № 1. С. 3–5.
9. Алтынцев М. А., Геращенко Г. Д. Применение современных алгоритмов обработки данных наземного лазерного сканирования для автоматического извлечения контуров. Интерэкспо ГЕО-Сибирь. XX Международный научный конгресс, 15– 17 мая 2024 г., Новосибирск : сборник материалов в 8 т. Т. 1: Международная научная конференция «Геодезия, геоинформатика, картография, маркшейдерия». – Новосибирск : СГУГиТ, 2024. С. 22–30.

© В. С. Беляков, М. А. Алтынцев, 2026