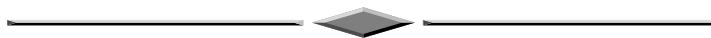


ДИСТАНЦИОННОЕ ЗОНДИРОВАНИЕ ЗЕМЛИ, ФОТОГРАММЕТРИЯ



УДК 528.721.221.6+[528.93:711.4]
DOI 10.33764/2411-1759-2024-29-6-32-43

Автоматизированная сегментация и классификация данных мобильного лазерного сканирования для векторизации контурной части топографического плана городской территории

М. А. Алтынцева^{1✉}, А. В. Комиссаров¹, М. А. Алтынцев¹

¹ Сибирский государственный университет геосистем и технологий,
г. Новосибирск, Российская Федерация

e-mail: als.mm@yandex.ru

Аннотация. Для сокращения времени, затрачиваемого на создание топографических планов, требуется разрабатывать специальные методики, которые, в первую очередь, зависят от применяемого метода получения данных и уровня застройки территории. Наибольшую сложность представляет собой решение этой задачи на основе данных лазерного сканирования, в том числе мобильного, полученных для городских территорий. Если создание высотной части по данным лазерного сканирования в большей степени автоматизировано за счет возможности применения методов распознавания точек поверхности земли, их прореживания, создания по ним горизонталей и надписей отметок высот, то контурная часть создается в основном полностью с помощью интерактивных операций. В связи с этим задача повышения уровня автоматизации создания контурной части топографического плана является наиболее актуальной. Для решения этой задачи предложено последовательно применять ряд методов автоматической сегментации и классификации массивов точек лазерных отражений с целью повышения точности автоматизированного распознавания отображаемых на топографических планах контуров или упрощения их интерактивной векторизации. На основе всех предлагаемых методов разработана методика автоматизированного создания топографических планов по данным мобильного лазерного сканирования, которая учитывает недостатки существующих методик их обработки. Предлагаемая методика апробирована по данным мобильного лазерного сканирования, полученным на протяженную городскую улицу. Представлены результаты применения оптимальных для городской территории методов сегментации и классификации.

Ключевые слова: мобильное лазерное сканирование, топографический план, фильтрация, сегментация, классификация, распознавание контуров, городская территория

Для цитирования:

Алтынцева М. А., Комиссаров А. В., Алтынцев М. А. Автоматизированная сегментация и классификация данных мобильного лазерного сканирования для векторизации контурной части топографического плана городской территории // Вестник СГУГиТ. – 2024. – Т. 29, № 6. – С. 32–43. – DOI 10.33764/2411-1759-2024-29-6-32-43

Введение

Для составления топографических планов используют различные источники пространственных данных. Каждый из них требует применения собственных уникальных методик первичной обработки, получения векторной информации в виде точек, линий, полигонов, а также текстовой информации. Наибольшие отличия в процессе создания топографических планов наблюдаются при применении данных, полученных традиционными геодезическими методами их сбора, ГНСС-измерениями, и данных дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ). В первом случае векторизация контурной части выполняется по отдельным пикетам, измеренным в поле с помощью геодезического оборудования. Во втором случае происходит распознавание векторной информации по сплошному растровому изображению или плотному массиву точек. Растровые изображения получают напрямую с помощью методов фотосъемки или путем их генерации по массивам точек лазерных отражений (ТЛО) путем проецирования точек на плоскость. В свою очередь, массивы точек являются результатами наземного, мобильного или воздушного лазерного сканирования или генерируются в ходе фотограмметрической обработки фотоснимков.

В отличие от создания топографических планов по пикетам, распознавание векторной информации по данным ДЗЗ требует дополнительного опыта исполнителя, который с помощью интерактивных действий может выполнять векторизацию или применять дополнительные автоматизированные методы обработки для распознавания необходимых контуров. Отсюда следует, что создание топографических планов по данным ДЗЗ занимает более длительное время из-за необходимости дополнительной обработки, тогда как по пикетам топографический план в случае применения системы полевого кодирования может быть получен практически полностью автоматически.

Чтобы упростить и ускорить создание топографических планов разрабатываются специальные методики обработки данных ДЗЗ, которые могут базироваться на различных ав-

томатизированных методах. Такие методы можно разделить на следующие группы [1]:

- методы фильтрации;
- методы сегментации;
- методы классификации;
- методы распознавания контуров.

Каждый из существующих методов этих групп применяется к растровым изображениям или массивам точек.

Методы фильтрации, применяемые для изображений, позволяют снизить зернистость, уровень различных помех на изображениях, таких как шумы фотоприемных устройств и каналов связи, подчеркнуть контуры объектов. Все методы фильтрации разделяются на пространственные, связанные с изменениями значений яркости пикселей, и частотные, к которым относятся Фурье-и вейвлет-преобразования. Методы фильтрации, применяемые для массивов точек, используются с целью снижения шумовых составляющих, представляющих собой отдельные ложные точки, которые могут исказить восприятие реальных форм объектов или представляться отдельными группами под поверхностью земли или в воздухе. Применение методов фильтрации позволяет улучшить результаты работы методов сегментации, классификации и распознавания контуров.

Сегментация объектов осуществляется для выделения однородных и связанных областей, элементы которых связаны между собой по какому-либо признаку или группе признаков в соответствии с задаваемым критерием близости или другими аналогичными свойствами.

Классификация осуществляет разделение всех объектов на изображениях или в массивах точек на классы по заданным признакам. Такие классы могут не иметь пространственной связи в отличие от результатов сегментации.

Методы извлечения контуров используются для выделения по данным ДЗЗ определенных деталей: точек, границ, углов, полигонов. Такие методы еще называют детекторами. При применении к изображениям детекторы выполняют поиск участков, где сильнее всего изменяется контраст. Наибольшее применение находят следующие детекторы: Харриса, Моравека, Форстера, Ши-Томаси,

FAST, MASER, SURF, SIFT. По массивам точек детекторы обнаруживают определенные детали, представляющие собой характерные линии, их пересечение, геометрические примитивы, крупные объекты, плоскости. Методы извлечения контуров взаимосвязаны с методами сегментации и классификации. То есть, распознанные контуры могут использоваться как для выполнения сегментации и классификации, так и наоборот [2].

Методики создания топографических планов зависят не только от применяемого метода топографической съемки и комплекса выбранных методов автоматизированной обработки, но и от уровня застройки и площади картографируемой территории, масштаба составляемого топографического плана, программного обеспечения. Наибольшую сложность представляет собой топографическая съемка городских территорий, где присутствует большое количество объектов, а также дополнительных помех (транспорт, пешеходы). В этом случае точность и достоверность результатов применения всех автоматизированных методов может существенно снижаться, что приводит к необходимости осуществления постоянного контроля результатов автоматизированной обработки и применения дополнительных интерактивных операций.

При топографической съемке протяженных городских улиц среди всех методов ДЗЗ частое применение находит мобильное лазерное сканирование (МЛС). Общая технологическая схема обработки данных лазерного сканирования, в том числе мобильного, с целью создания топографических планов приведена в [3]. В [4] дополнительно описано несколько вариантов этого процесса, позволяющих векторизовать контурную и высотную части топографического плана с помощью применения интерактивных операций специализированного программного обеспечения. В [5] описывается методика создания топографических планов по данным лазерного сканирования, позволяющая его упростить за счет применения подходящих режимов отображения в зависимости от вида векторизуемого объекта, выполнения классификации массива точек и построения горизонталей по автоматически прореженным точкам поверх-

ности земли. В [6] подробно обсуждается описанная в [5] методика с позиции автоматизации извлечения контуров из трехмерных массивов точек, предлагается применение отдельных автоматических методов. В [7] приводится методика автоматизированного создания топографического плана по данным аэрофотосъемки, выполненной с беспилотных воздушных судов, где применен ряд автоматических методов сегментации, классификации и распознавания контуров. Но такая методика апробирована только на незастроенных территориях с небольшим количеством объектов.

Таким образом, вопрос разработки автоматизированных методик создания топографических планов по данным ДЗЗ, в частности по МЛС, является весьма актуальным. Существующие решения не позволяют получить конечный продукт автоматическим способом. Возможно только автоматизация отдельных этапов. Повысить уровень автоматизации, а также удобство применения интерактивных инструментов, позволяет внедрение большего количества методов классификации и сегментации массивов точек, что особенно важно при анализе данных на городские территории.

Методы сегментации и классификации

Существует большое количество методов сегментации, которые в зависимости от формата данных, массива точек или растрового изображения, способа их анализа, разделяют на определенные группы. Для массивов точек все методы сегментации можно разделить на следующие группы [8–10]:

- на основе порогового значения;
- на основе выделения краев;
- на основе наращивания регионов;
- на основе вписывания геометрических примитивов;
- гибридные методы;
- на основе машинного обучения.

Методы, основанные на пороговом значении, выделяют группы точек посредством измерения пространственного расстояния между ними [11].

Методы, основанные на выделении краев, состоят из двух этапов: распознавание краев

для выделения различных регионов и группирование точек внутри границ для их включения в окончательные сегменты. Края определяются точками, где изменения свойств локальной поверхности превышают заданный порог. Наиболее часто применяемыми свойствами локальной поверхности являются нормали, градиенты, значения кривизны. Такие методы обеспечивают быструю сегментацию, но они могут давать неточные результаты в случае шума и неравномерной плотности массивов точек. В трехмерном пространстве такие методы часто обнаруживают несвязанные края, что затрудняет идентификацию замкнутых сегментов без процедуры заполнения [12].

Методы, основанные на наращивании регионов, начинают разделение на группы с одной или нескольких характерных точек, имеющих специфические характеристики. Наращивание регионов выполняется вокруг характерных точек посредством поиска соседних точек с похожими характеристиками, такими как ориентация поверхности, ее кривизна и т. д. Методы этой группы используют восходящий или нисходящий подход. Восходящий подход заключается в первоначальном выборе исходных характерных точек и постепенном добавлении соседних точек в сегменты путем указания критериев подобия. Нисходящий подход заключается в назначении всех точек одной группе, а затем выполнении вписывания одиночной поверхности в точки такой группы. Таким образом, методы наращивания регионов состоят из двух этапов: выбор исходных характерных точек на основе кривизны поверхности, которой они принадлежат, и наращивания регионов с учетом предопределенных критериев, таких как расстояние между точками и ориентация поверхностей [8].

Методы, основанные на вписывании геометрических примитивов, предполагают, что все антропогенные объекты можно разложить на геометрические примитивы в виде плоскостей, цилиндров и сфер. Поэтому геометрические примитивы вписываются в массивы точек, и точки, которые соответствуют математическому описанию формы примитива, отмечаются как один сегмент. В случае, если при-

митивы имеют некоторую семантическую информацию, то такой подход также позволяет выполнить классификацию. Например, к этой группе относят преобразование Хафа и метод RANSAC.

Гибридные методы объединяют несколько методов других групп.

Методы машинного обучения – это широкая группа методов, для обучения которых используются большие массивы данных. Сюда относятся методы иерархической кластеризации, кластеризации k -средних. Машинное обучение также включает различные нейронные сети. Методы машинного обучения достаточно надежны. Результаты такого вида сегментации зависят от плотности массива точек. Процесс сегментации обычно занимает достаточно длительное время.

Методы иерархической кластеризации направлены на создание иерархии, состоящей из групп точек. Разбиение массива точек на подмножества выполняется до тех пор, пока каждое из них не будет представлено одним объектом. Кластеризация выполняется с использованием определенной метрики, наиболее распространенной из которых является евклидово расстояние. В иерархических методах отсутствует предопределенное количество групп. Результат представляется в виде дендрограммы [13].

В отличие от иерархической кластеризации, в кластеризации k -средних заранее определено число групп, равное k . Группировка осуществляется путем минимизации суммы квадратов расстояний между точкой и соответствующим центроидом кластера.

Классификация разделяется на неконтролируемую и контролируемую [14]. Неконтролируемая классификация заключается в группировке точек массива без предварительной информации о количестве классов и их характеристик. Контролируемая классификация основана на признаках объектов, принадлежность которых к определенному классу на местности известна. С целью формирования вектора признаков выполняется процесс обучения с помощью эталонных участков, соответствующих известному объекту.

Методика автоматизированного создания топографических планов по данным мобильного лазерного сканирования

На основе существующих методик создания топографических планов, представленных в [3–7], и включения ряда автоматических методов фильтрации, сегментации, классификации и распознавания контуров, была разработана собственная методика, представленная на рис. 1.

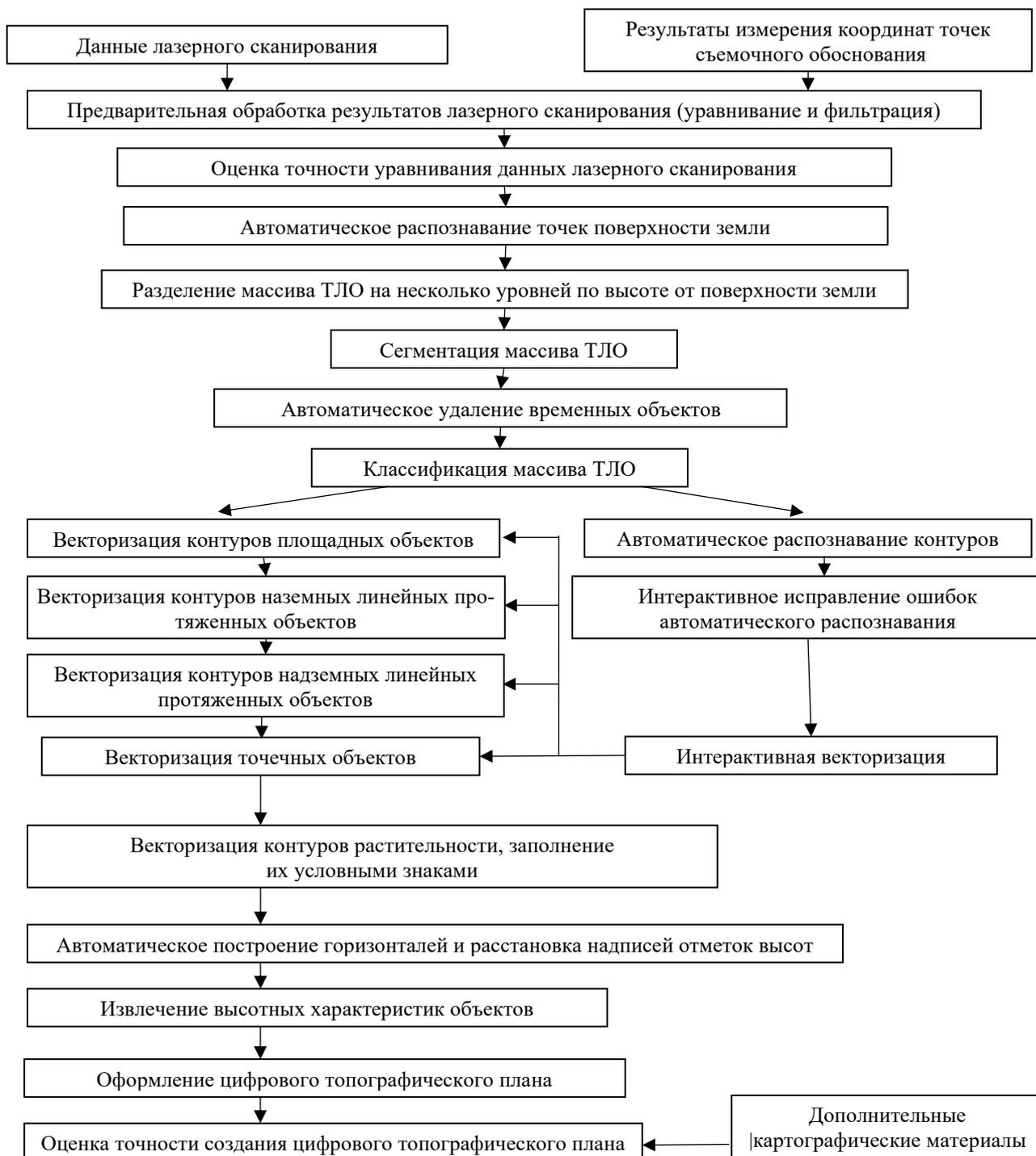


Рис. 1. Методика автоматизированного создания топографических планов по данным мобильного лазерного сканирования

В начале выполняется предварительная обработка данных лазерного сканирования, после чего распознаются точки поверхности земли, массив точек разбивается на уровни по высоте от земли, происходит его автоматическая сегментация, удаляются точки временных объектов. Затем выполняется классификация массива точек, результаты которой служат для поочередного распознавания контуров объектов с целью создания контурной части топографического плана. Далее выполняется создание его высотной части, включающей размещение горизонталей, надписей отметок высот и высотных характеристик объектов. Завершающей частью является окончательное оформление цифрового топографического плана по условным знакам и оценка точности.

Результаты сегментации и классификации данных мобильного лазерного сканирования

Для исследования этапов сегментации и классификации методики автоматизированного создания топографических планов были выбраны данные мобильного лазерного сканирования городской территории, полученные системой Reigl VMX-250 на улице Станиславского г. Новосибирска при съемке в прямом и обратном направлениях. Участок характеризуется плотной застройкой, большим количеством высоких деревьев, присутствием временных объектов в виде транспортных средств. На рис. 2 представлен фрагмент данных системы Reigl VMX-250 в режиме отображения по высоте.

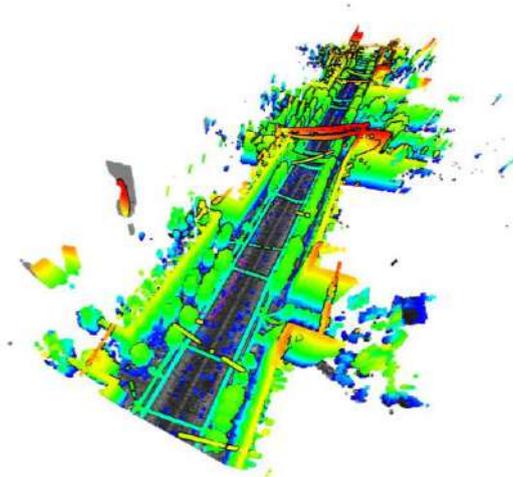


Рис. 2. Результат МЛС городской территории, полученный мобильным лазерным сканером Riegl VMX-250

Все данные были предварительно уравнены, также была выполнена автоматическая фильтрация ложных измерений и предварительная классификация массива ТЛЮ с целью распознавания точек поверхности земли, от уровня которой оставшиеся точки были разбиты по высоте, что позволяет использовать отдельные слои точек для выполнения последующей автоматической сегментации и классификации (рис. 3). Для распознавания точек поверхности земли использовался метод Аксельсона [15].

Затем была выполнена сегментация массива с последовательным применением методов

двух групп: на основе порогового значения и наращивания регионов. В первом методе выбиралось пороговое значение пространственного расстояния между точками, равное 30 см. Также задавалось минимальное количество точек, которые могли сформировать сегмент – 100. Значение пространственного расстояния между точками для создания сегмента выбиралось на основе плотности данных лазерного сканирования, которая должна быть выше этого числа на границах полосы съемки. Этот метод позволил разбить на сегменты такие сплошные крупные объекты, как здания. Неко-

торые сегменты после этого могли включать как точки зданий, так и другие вплотную прилегающие объекты, например, некоторые деревья. Чтобы отделить деревья, был применен метод водоразделов, относящийся к группе сегментации, основанной на наращивании регионов. В [16] реализовано два варианта метода водоразделов. Первый вариант добавляет точки в сегмент на основе двух параметров: минимальная высота объекта и минимальное количество точек в сегменте. Второй вариант содержит такие параметры, как минимальная длина ствола дерева, его макси-

мальный диаметр и минимальная высота сегмента над точками поверхности земли. Для выполнения сегментации был выбран первый вариант. Такой вариант позволил добавить в отдельные сегменты полосу деревьев, чьи кроны соприкасаются. Этот вариант предпочтительнее, если следует отобразить контур растительности. Второй вариант лучше подходит для ситуации, когда необходимо выполнить подеревную съемку. Результаты сегментации показаны на рис. 4. Например, точки каждого здания стали представлены отдельными сегментами.

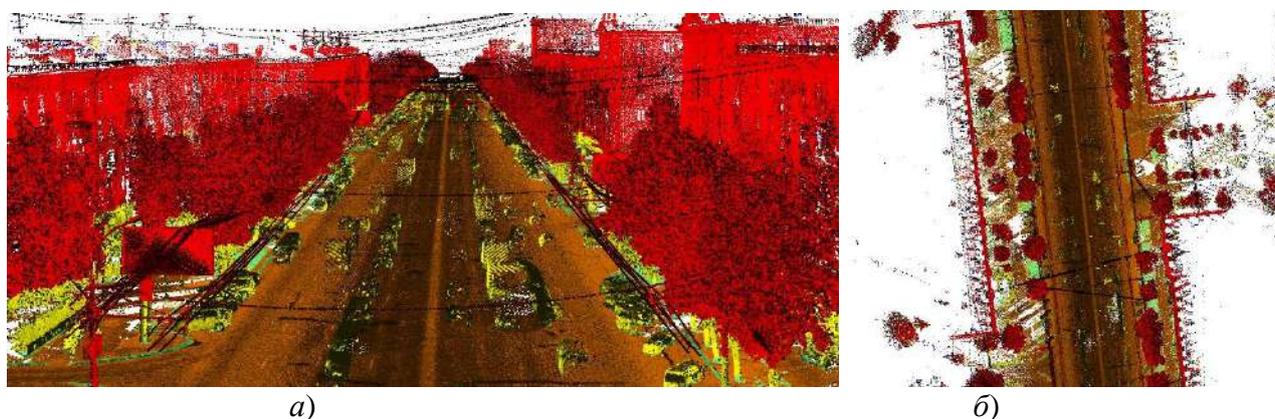


Рис. 3. Результат распознавания точек земли и классификации точек по высоте:

а) перспективный вид; б) вид сверху; ■ – земля; ■ – 0–0,3 м; ■ – 0,3 – 3 м; ■ – > 3 м

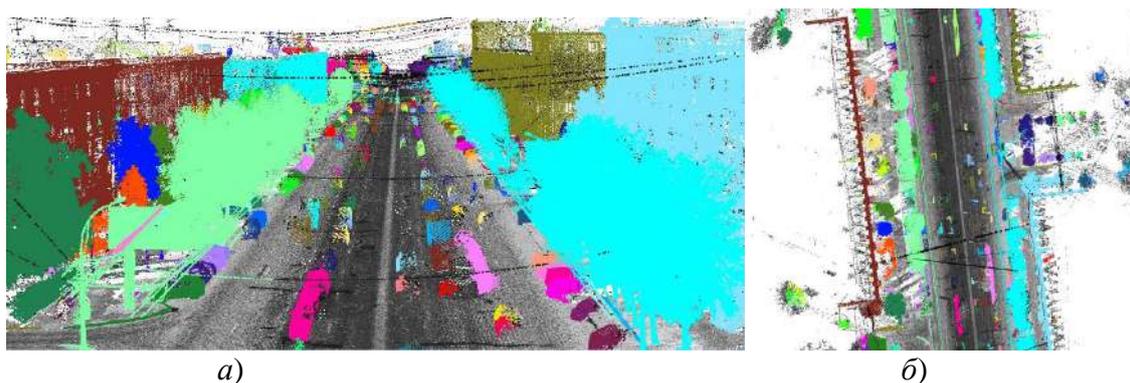


Рис. 4. Результат сегментации массива точек:

а) перспективный вид; б) вид сверху

Далее было выполнено удаление временных объектов, в качестве которых выступал движущийся транспорт. Удаление выполнялось на основе сравнения спутникового времени получения соседних точек, записываемого системой МЛС. Если для точки, полученной с первой траектории в пределах радиуса 30 см не находилась точка, полученная со второй траектории, то она считалась временной (рис. 5).

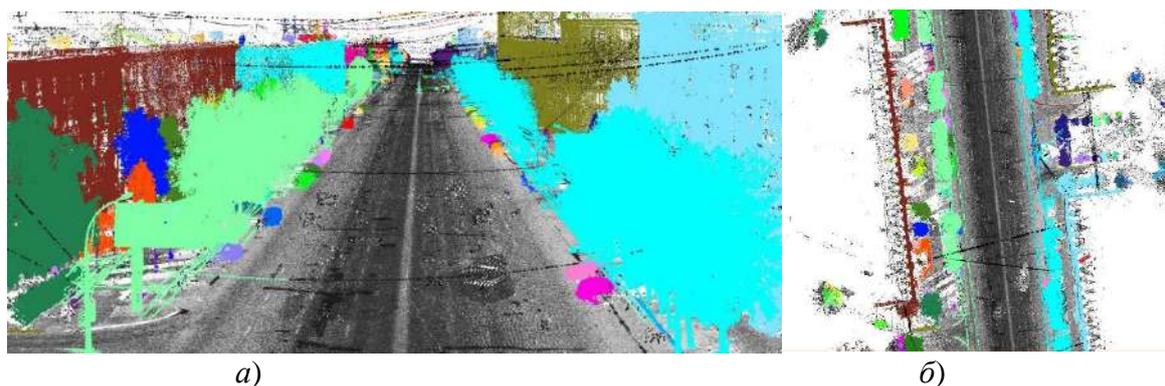


Рис. 5. Результат удаления временных объектов:
а) перспективный вид; б) вид сверху

Результаты предварительной классификации и сегментации использовались в рамках последующего этапа классификации массива ТЛЮ с целью выделения точек растительности, зданий и других антропогенных объектов.

Чтобы выделить класс стен зданий применялся автоматический метод классификации, реализованный в [16], в рамках которого выполнялся поиск плоскостей размером, не меньшим 3 м^2 в пределах глубины 10 см на уровне первого этажа зданий (рис. 6).

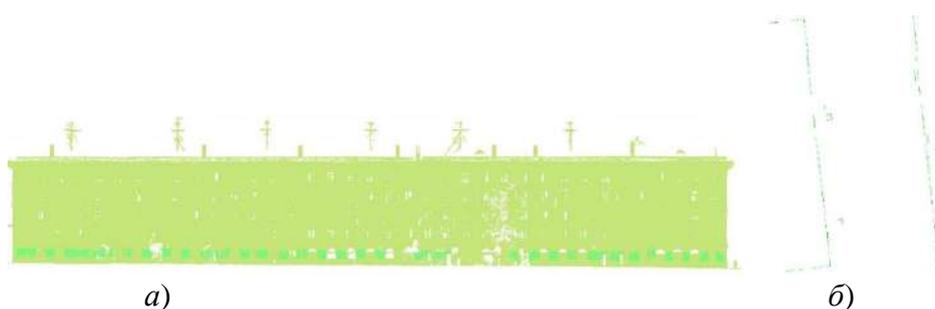


Рис. 6. Результат распознавания плоскостей по данным мобильного лазерного сканирования:
а) вид сбоку; б) вид сверху

Такие плоскости удобно использовать для векторизации контуров как интерактивно, так и с помощью автоматизированных методов вписывания линий в точки с целью построения контурной части топографического плана. На рис. 7 показан пример автоматического точного вписывания приблизительно векторизованного контура здания по его углам с помощью соответствующего метода [16].



Рис. 7. Результат векторизации контура здания по данным мобильного лазерного сканирования

Результат распознавания отдельных вертикальных плоскостей можно использовать для автоматического выделения всех точек стен зданий (рис. 8).

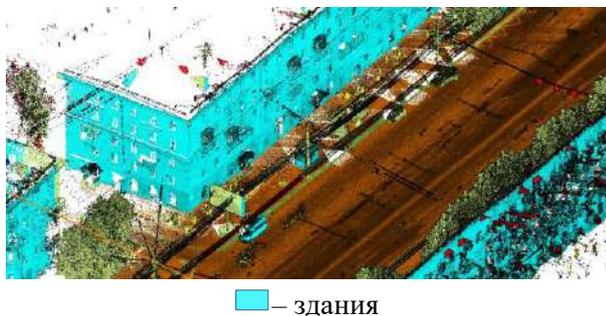


Рис. 8. Результат классификации массива ТЛО

Обсуждение

Автоматизированная сегментация и классификация данных лазерного сканирования позволяют упростить процесс векторизации контурной части топографического плана за счет повышения точности последующего автоматизированного распознавания контуров и возможности удобной формы отображения массива ТЛО в ходе интерактивной векторизации. Повышение точности распознавания контуров достигается за счет ограничения области анализа данных в пределах определенного сегмента или класса. Удобство интерактивной векторизации достигается за счет возможности отображения только необходимого объекта, контур которого создается. Например, отображение только точек деревьев для создания контура растительности, отображение только точек земли для векторизации структурных линий откосов, отображение узкого слоя точек по высоте от уровня земли для обнаружения оставшихся точечных объектов после отключения классов других распознанных объектов.

Еще больше возрастает трудоемкость создания топографических планов по данным лазерного сканирования для городских территорий, что вызвано большим количеством антропогенных объектов. Например, требуется выделять границы тротуаров, распознавать только тот тип проводов, который отобража-

ется на топографических планах – если провода ЛЭП присутствуют на любых территориях и всегда показываются на топографических планах, то контактная сеть для транспорта – нет. С точки зрения автоматизации для выделения тротуаров выполняется применение методов поиска бордюров относительно распознанных в результате классификации точек поверхности земли с помощью методов, основанных на анализе изменения уклона поверхности. Для отделения проводов ЛЭП от контактной сети надежнее будет выполнять интерактивную векторизацию, предварительно отобразив массив ТЛО цветом по высоте, чем анализировать все распознанные провода с целью определения тех из них, которые должны быть показаны на топографическом плане.

Заключение

Предложенная методика автоматизированного создания топографических планов по массивам ТЛО учитывает все особенности данных мобильного лазерного сканирования и включает различные этапы их обработки, в том числе сегментацию и классификацию. Сегментация и классификация имеют важное значение для упрощения создания топографических планов по данным лазерного сканирования, позволяя применять автоматизированные методы распознавания отдельных отображаемых на топографических планах контуров и представить массивы ТЛО в определенной цветовой схеме, наиболее удобной для выделения конкретного объекта. Это особенно важно при обработке данных топографической съемки городских территорий.

Продемонстрированные примеры применения автоматизированных методов сегментации и классификации данных МЛС подтверждают преимущества применения автоматизированных методов сегментации и классификации в рамках предложенной методики создания топографических планов. Дальнейшие исследования на эту тему будут посвящены расширению применения автоматизированных методов для выделения на городских территориях отдельных небольших объектов, таких как дорожные знаки, светофоры, рекламные щиты, опоры ЛЭП.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Гук А. П., Хлебникова Е. П. Методы и технологии распознавания объектов по их изображению : учеб.-метод. пособие. – Новосибирск : СГУГиТ, 2019. – 138 с.
2. Чибуничев А. Г. Фотограмметрия : учебник для вузов. – М. : МИИГАиК, 2022. – 328 с.
3. Комиссаров А. В., Алтынцев М. А. Метод активного дистанционного зондирования: лазерное сканирование : монография. – Новосибирск : СГУГиТ, 2020. – 254 с.
4. Комиссаров А. В. Лазерное сканирование и трехмерное моделирование : учеб.-метод. пособие. – Новосибирск : СГУГиТ, 2020. – 58 с.
5. Алтынцев М. А., Алтынцева М. А. Выбор методики составления топографических планов нефтегазовых объектов в зависимости от метода съемки // ИнтерКарто. ИнтерГИС. Геоинформационное обеспечение устойчивого развития территорий : материалы Междунар. конф. – М. : Изд-во Московского университета, 2020. – Т. 26, Ч. 1. – С. 447–463. – DOI 10.35595/2414-9179-2020-1-26-447-463.
6. Altyntsev M. A., Altyntseva M. A. The challenge of automation for large scale topographic mapping of oil and gas deposits based on terrestrial laser scanning data // International Archives of ISPRS. – 2022. – Vol. XLIII-B2. – P. 161–167. – DOI 10.5194/isprs-archives-XLIII-B2-2022-161-2022.
7. Береговой Д. В., Мустафин М. Г. Методика автоматизированного создания топографического плана на основе съемки с беспилотного летательного аппарата // Геодезия и картография. – 2018. – Т. 79, № 9. – С. 30–36. – DOI 10.22389/0016-7126-2018-939-9-30-36.
8. Grilli E. A review of point clouds segmentation and classification algorithms / E. Grilli, F. Menna, F. Remondino // International Archives of ISPRS. – 2017. – Vol. XLII-2/W3. – P. 339–444. – DOI 10.5194/isprs-archives-XLII-2-W3-339-2017.
9. Джидд А. Д. Обзор методов сегментации и классификации облака точек архитектурных объектов // Известия вузов. Геодезия и аэрофотосъемка. – 2019. – Т. 63, № 1. – С. 6–8. – DOI 10.30533/0536-101X-2019-63-1-52-59.
10. Лукашик Д. В. Анализ современных методов сегментации изображений // Экономика и качество систем связи. – 2022. – Т. 24, № 2. – С. 57–65.
11. Pilarska-Mazurek M., Ostrowski W. Evaluating the possibility of tree species classification with dual-wavelength ALS Data // International Archives of ISPRS. – 2017. – Vol. XLII-2/W13. – P. 1097–1103. – DOI 10.5194/isprs-archives-XLII-2-W13-1097-2019.
12. Rabbani T., Van Den Heuvel F., Vosselmann G. Segmentation of point clouds using smoothness constraint // International Archives of ISPRS. – 2006. – Vol. XXXVI (5). – P. 248–253.
13. Кисляков А. Н., Поляков С. В. Иерархические методы кластеризации в задаче поиска аномальных наблюдений на основе групп с нарушенной симметрией // Управленческое консультирование. – 2020. – № 5. – С. 116–127. – DOI 10.22394/1726-1139-2020-5-116-127.
14. Лабутина И. А. Дешифрирование космических снимков : учеб. пособ. – М. : Аспект Пресс, 2004. – 184 с.
15. Axelsson P. DEM generation from laser scanner data using adaptive TIN models // International Archives of ISPRS. – 2000. – Vol. XXXIII-4. – P. 111–118.
16. TerraScan User Guide [Электронный ресурс]. – URL: <https://terrasolid.com/guides/tscan/mwassigngroups.html?q=assign> (дата обращения 18.05.2024).

Об авторах

Марина Анатольевна Алтынцева – старший преподаватель кафедры картографии и геоинформатики.

Александр Владимирович Комиссаров – доктор технических наук, доцент, заведующий кафедрой фотограмметрии и дистанционного зондирования.

Максим Александрович Алтынцев – кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры инженерной геодезии и маркшейдерского дела.

Получено 14.06.2024

© М. А. Алтынцева, А. В. Комиссаров, М. А. Алтынцев, 2024

Automated segmentation and classification of mobile laser scanning data for vectorization of the contour part of the topographic plan of the urban area

M. A. Altyntseva¹✉, A. V. Komissarov¹, M. A. Altyntsev¹

¹ Siberian State University of Geosystems and Technologies, Novosibirsk, Russian Federation

e-mail: als.mm@yandex.ru

Abstract. In order to reduce the time spent on creating topographic plans, it is necessary to develop special methods that primarily depend on the method used to obtain data and the level of development of the territory. The greatest difficulty is solving this problem based on laser scanning data, including mobile, obtained for urban areas. If the creation of the high-altitude part based on laser scanning data is largely automated due to the possibility of using methods for recognizing points on the earth's surface, thinning them out, creating contours and elevation labels based on them, then the contour part is created mainly entirely using interactive operations. In this regard, the task of increasing the level of automation of creating the contour part of a topographic plan is the most urgent. To solve this problem, it is proposed to consistently apply a number of methods for automatic segmentation and classification of arrays of laser reflection points in order to improve the accuracy of automated recognition of contours displayed on topographic plans or to simplify their interactive vectorization. Based on all the proposed methods, a methodology for automated creation of topographic plans based on mobile laser scanning data has been developed, which takes into account the shortcomings of existing methods for their processing. The proposed methodology has been tested using mobile laser scanning data obtained for an extended city street. The results of applying optimal segmentation and classification methods for an urban area are presented.

Keywords: mobile laser scanning, topographic plan, filtering, segmentation, classification, edge recognition, urban area

REFERENCE

1. Guk, A. P., & Khlebnikova, E. P. (2019). *Metody i tekhnologii raspoznavaniya ob"-ektov po ikh izobrazheniyu [Methods and technologies for recognizing objects by their image]*. Novosibirsk: SGUGT Publ., 138 p. [in Russian].
2. Chibunichev, A. G. (2022). *Fotogrammetriya [Photogrammetry]*. Moscow: MIIGAiK Publ., 328 p. [in Russian].
3. Komissarov, A. V., & Altyntsev, M. A. (2020). *Metod aktivnogo distantsionnogo zondirovaniya: lazernoe skanirovanie [Active remote sensing method: laser scanning]*. Novosibirsk: SGUGT Publ., 254 p. [in Russian].
4. Komissarov, A. V. (2020). *Lazernoe skanirovanie i trekhmernoe modelirovanie [Laser scanning and 3D modeling]*. Novosibirsk: SGUGT Publ., 58 p. [in Russian].
5. Altyntsev, M. A., Altyntseva, M. A. (2020). Generating topographic plans of oil and gas industry depending on a surveying method. In *Sbornik materialov InterKarto. InterGIS-2020: Mezhdunarodnoy konferentsii: T. 26, no. 1. Geoinformatsionnoe obespechenie ustoychivogo razvitiya territoriy [Proceedings of InterKarto. InterGIS-2020: International Conference: Vol. 26, No. 1. GI support of sustainable development of territories]* Moscow: Moscow University Press Publ. pp. 447–463. [in Russian].
6. Altyntsev, M. A., & Altyntseva, M. A. (2022). The challenge of automation for large scale topographic mapping of oil and gas deposits based on terrestrial laser scanning data. *International Archives of ISPRS*, XLIII-B2, 161–167. DOI 10.5194/isprs-archives-XLIII-B2-2022-161-2022.
7. Beregovoy, D. V., & Mustafin, M. G. (2018). Automated method of a topographic plan creation based on survey from a drone. *Geodeziya i kartografiya [Geodesy and Cartography]*, 79(9), 30–36. DOI 10.22389/0016-7126-2018-939-9-30–36 [in Russian].

8. Grilli, E. A. (2017). Review of point clouds segmentation and classification. *International Archives of ISPRS*, XLII-2/W3, 339–444. DOI 10.5194/isprs-archives-XLII-2-W3-339-2017.
9. Dzhdid, A. D. (2019). Review of point clouds segmentation and classification methods for architectural objects. *Izvestiya vuzov "Geodeziya i aerofotos"emka" [Izvestia Vuzov "Geodesy and Aerophotosurveying"]*, 63(1), 6–8. DOI 10.30533/0536-101X-2019-63-1-52-59 [in Russian].
10. Lukashik, D. V. (2022). Analysis of modern image segmentation methods. *Ekonomika i kachestvo sistem svyazi [Economy and Quality of Communication Systems]*, 24(2), 57–65 [in Russian].
11. Pilarska-Mazurek, M., & Ostrowski, W. (2017). Evaluating the possibility of tree species classification with dual-wavelength ALS Data. *International Archives of ISPRS*, XLII-2/W13, 1097–1103. DOI 10.5194/isprs-archives-XLII-2-W13-1097-2019.
12. Rabbani, T., Van Den Heuvel, F., & Vosselmann, G. (2006). Segmentation of point clouds using smoothness constraint. *International Archives of ISPRS*, XXXVI (5), 248–253.
13. Kislyakov, A. N., & Polyakov, S. V. (2020). Hierarchical clustering methods in a task to find abnormal observations based on groups with broken symmetry. *Upravlencheskoe konsul'tirovanie [Administrative Consulting]*, 5, 116–127. DOI 10.22394/1726-1139-2020-5-116-127 [in Russian].
14. Labutina, I. A. (2004). *Deshifrirovaniye kosmicheskikh snimkov [Space image decoding]*. Moscow: Aspekt Press Publ., 184 p. [in Russian].
15. Axelsson, P. (2000). DEM generation from laser scanner data using adaptive TIN models. *International Archives of ISPRS*, XXXIII-4, 111–118.
16. TerraScan User Guide (n. d.). Retrieved from <https://terrasolid.com/guides/tscan/mwas-signgroups.html?q=assign> (accessed May 18, 2024).

Author details

Marina A. Altyntseva – Senior Lecturer, Department of Cartography and Geoinformation.

Aleksandr V. Komissarov – D. Sc., Associate Professor, Head of the Department of Photogrammetry and Remote Sensing.

Maksim V. Altyntsev – Ph. D., Associate Professor, Department of Engineering Geodesy and Mine Surveying.

Received 14.06.2024

© *M. A. Altyntseva, A. V. Komissarov, M. A. Altyntsev, 2024*