

М. А. Алтынцев^{1}, Г. Д. Геращенко¹*

Применение современных алгоритмов обработки данных наземного лазерного сканирования для автоматического извлечения контуров

¹ Сибирский государственный университет геосистем и технологий, г. Новосибирск, Российская Федерация
* e-mail: mnbcv@mail.ru

Аннотация. Для определения пространственного положения конструктивных элементов зданий и сооружений разрабатывается чертеж фасада. Чертежи фасадов являются результатом обработки данных, полученных в результате выполнения фасадной съемки. Точность обработки данных и ее скорость возможно увеличить с помощью автоматизации этапов камеральных работ путем использования различных алгоритмов обработки данных. Современные алгоритмы обработки данных наземного лазерного сканирования позволяют автоматически извлекать контуры и иные данные из массивов точек лазерных отражений. Сложность в том, что из всего обилия этих алгоритмов нужно подбирать такую последовательность действий, которая будет подходить как под метод фасадной съемки, так и под требования к точности и под задачи готового чертежа фасада. В ходе данного исследования были рассмотрены методы обработки данных, а также проведены эксперименты с целью создания методики обработки данных наземного лазерного сканирования для автоматического извлечения контуров. Результатом предложенной методики являются извлеченные контуры, состоящие из характерных точек, которые возможно редактировать, а впоследствии применять для дальнейшего построения чертежей фасадов.

Ключевые слова: наземное лазерное сканирование, массив точек лазерных отражений, фасадная съемка, автоматизированное извлечение контуров, автоматическая классификация

М. А. Altyntsev^{1}, G. D. Geraschenko¹*

Application of up to date algorithms for processing ground-based laser scanning data for automatic contour extraction

¹ Siberian State University of Geosystems and Technologies, Novosibirsk, Russian Federation
* e-mail: mnbcv@mail.ru

Abstract. A facade drawing is being developed to determine the spatial position of structural elements of buildings and structures. The drawings of the facades are the result of processing the data obtained as a result of the facade survey. The accuracy of data processing and its speed can be increased by automating the stages of cameral work by using various data processing algorithms. Modern algorithms for processing terrestrial laser scanning data allow automatically extracting contours and other data from laser points. The difficulty is that from all the abundance of the algorithms, it is necessary to choose such a sequence of actions that will be suitable both for the method of facade survey, and for the accuracy requirements and for the tasks of the finished facade drawing. Data processing methods were reviewed, as well as experiments were conducted to create a technique for processing terrestrial laser scanning data for automatic contour extraction. The proposed technique produces extracted contours made up of feature points that can be edited and utilized for creating additional facade drawings.

Keywords: terrestrial laser scanning, point cloud, facade survey, automated extraction of contours, automatic classification

Введение

Фасадная съемка – это процесс измерения и документирования геометрических параметров здания или сооружения. Это позволяет получить точное представление о форме и размерах здания, его расположении относительно других объектов, определить пространственные положения конструктивных элементов зданий и сооружений, разработать чертеж фасада, содержащий в себе размеры, высотные отметки и координаты. Обработка данных происходит с помощью интерактивных операций, следовательно, может содержать ошибки из-за человеческого фактора и занимает большое количество времени. Точность обработки данных и ее скорость возможно увеличить с помощью автоматизации наиболее трудоемких этапов камеральных работ путем использования различных алгоритмов обработки данных, которые *существуют в большом количестве и довольно разнообразны*.

Автоматическое извлечение контуров из массива точек лазерных отражений (ТЛО) может быть сложной задачей, зависящей от нескольких факторов. Лазерные отражения могут содержать шум и искажения, что затрудняет точное определение контуров. Данные могут быть неравномерно распределены, что усложняет определение контуров и требует сложных алгоритмов обработки. Контуров могут иметь сложные формы, включая изгибы, углы и разрывы, что усложняет процесс их автоматического извлечения. Большой объем данных может потребовать высокой вычислительной мощности для эффективного извлечения контуров.

В целом, современные алгоритмы обработки данных наземного лазерного сканирования позволяют автоматически извлекать контуры и иные данные из массивов ТЛО. Сложность заключается в том, что из всего обилия методов обработки данных нужно подобрать такую последовательность действий, которая будет подходить как под метод фасадной съемки, так и под требования к точности и под задачи готового чертежа фасада [1].

В ходе данного исследования были рассмотрены методы обработки данных, а также проведены эксперименты с целью создания методики обработки данных наземного лазерного сканирования для автоматического извлечения контуров.

Исходные данные

В качестве исходных данных были выбраны результаты съемки студенческого городка СГУГиТ наземным лазерным сканером Geomax Zoom 300 в сентябре 2021 года. На рис. 1, *а* приведен космический снимок студенческого городка СГУГиТ. На рис. 1, *б* показаны результаты лазерного сканирования с указанием мест расположения сканера. Съемка проводилась с трех линий: первая линия – позиции S1–S4; вторая линия – позиции S5–S8; третья линия – позиции S9–S12 [2].

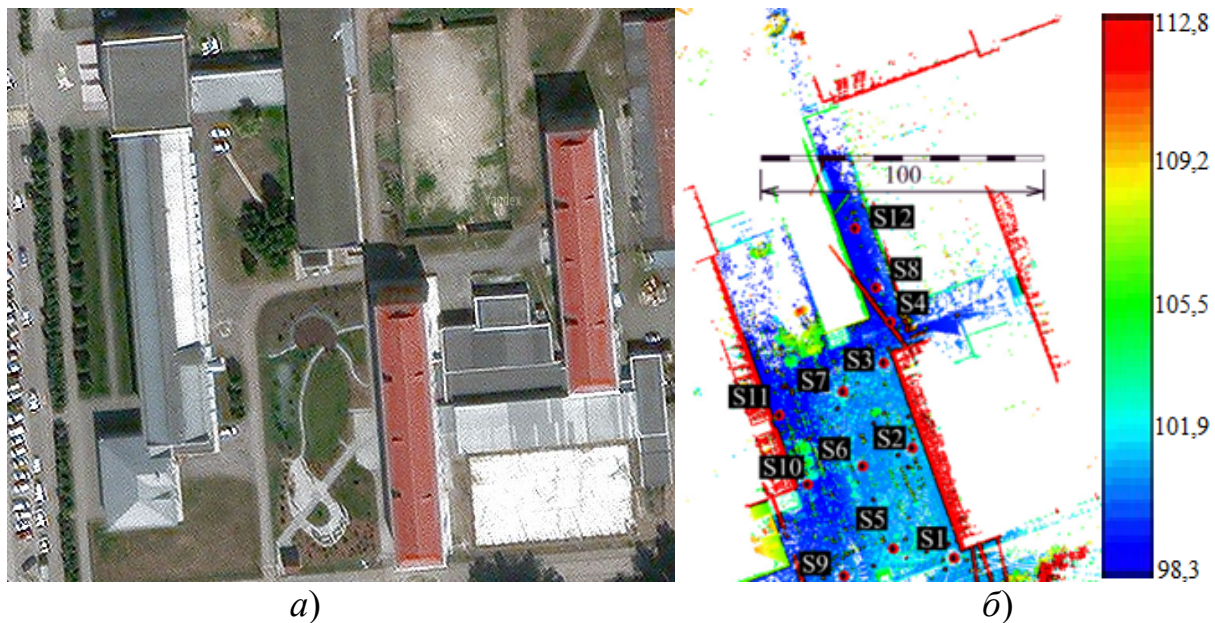


Рис. 1. Изображение зданий студенческого городка СГУГиТ:

a) космический снимок зданий и окружающей территории; *б)* данные наземного лазерного сканирования с градацией по высоте и отображением мест расположения сканера; S1–S4 – сканерные позиции первой линии; S5–S8 – сканерные позиции второй линии; S9–S12 – сканерные позиции третьей линии

В ПО X-PAD Office Fusion было автоматически выполнено взаимное ориентирование сканов на основе анализа их областей перекрытия [3]. Для выполнения внешнего ориентирования массива ТЛО использовались координаты точки S6 и двух дополнительных марок, которые интерактивно распознавались в массиве ТЛО.

Современные алгоритмы обработки данных наземного лазерного сканирования

Путем комбинации современных алгоритмов обработки данных наземного лазерного сканирования возможно добиться качественных извлечений контуров. Предложенная методика приведена на рис. 2.

Для разных зданий результат будет являться удовлетворительным при разных результатах, поэтому после каждого из шагов оператор оценивает результат выполнения операции (удаление шума, выполнение классификации, извлечение характерных точек). Методика допускает наличие дополнительных промежуточных шагов ради достижения более качественного результата.

Первый шаг – это фильтрация данных. Это важный аспект обработки данных, который помогает улучшить их качество и повысить точность извлечения контуров, а также делает их более пригодными для дальнейшего анализа и использования.

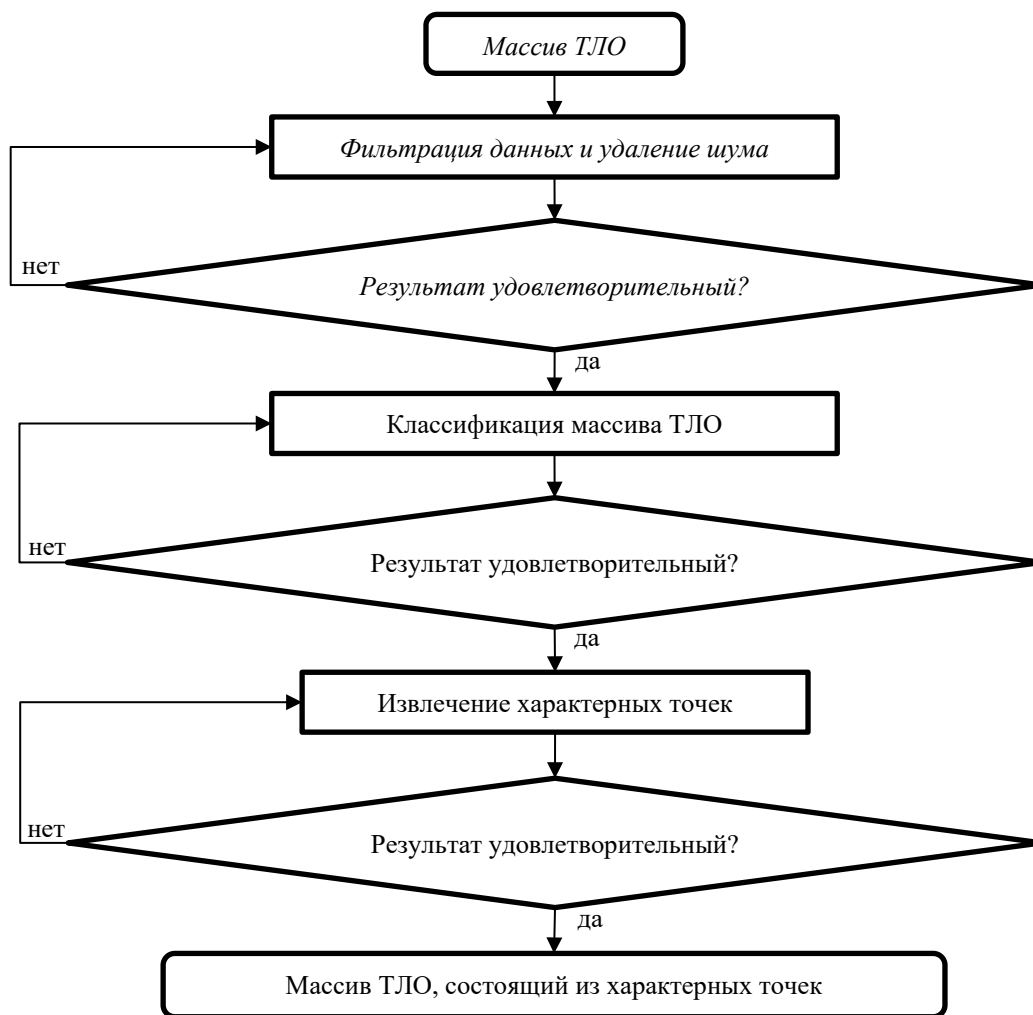


Рис. 2. Методика обработки данных наземного лазерного сканирования для автоматического извлечения контуров

Любой хороший алгоритм фильтрации массива ТЛО должен: обеспечивать баланс между устранением шума и сохранением характеристик, т. е. устранять выбросы и шумы, сохраняя при этом точность данных за счет сохранения четких границ и локальных деталей сканируемой поверхности; быть самонастраиваемым, то есть не требовать на входе точных оценок модели шума или статистики неизвестной сканируемой поверхности. (например, локальный тип поверхности или характеристики кривизны); быть инвариантным к перестановкам и жесткому преобразованию, применяемым к набору точек, т.е. выходные данные без шума должны быть независимы выбора системы координат или от угла сканирования; избегать излишнего ухудшения входных данных, т.е. оставлять точки на сканируемой поверхности, если входные данные не содержат помех [4].

После выполнения фильтрации данных и удаления шумов выполняется классификация массива ТЛО. При классификации массива ТЛО возможно разделение точек на слои в зависимости от типа местности: рельеф, растительность (низкая, средняя, высокая), полотно покрытия автомобильной дороги, линии

электропередачи, ограждения, здания. Такой подход позволяет улучшить работу с массивом ТЛО: можно выбрать отображение данных с применением разных цветов для разных слоев, регулировать видимость слоев или использовать точки конкретных слоев для применения алгоритмов распознавания объектов. Данный метод использует алгоритмы для выделения групп точек по схожим характеристикам (например, расположение на поверхности объекта либо схожие метрические характеристики). Затем проводится анализ каждой группы точек для определения размеров и форм объекта [5].

После того, как мы с помощью фильтрации выделили стены в отдельный слой в массиве ТЛО, можно приступить к извлечению контуров путем распознавания характерных точек. Характерные точки – это точки в массиве ТЛО, которые представляют отличительную геометрическую или семантическую информацию, такую как углы, ребра или ключевые точки.

В процессе обработки оператор может настраивать параметры используемых методов для достижения требуемых результатов в зависимости от особенностей конкретного массива ТЛО и требуемого уровня детализации.

Результаты

В ходе экспериментов предложенная методика была использована для обработки исходных данных наземного лазерного сканирования. Первым шагом были фильтрация данных и удаление шума и выбросов (рис. 3).

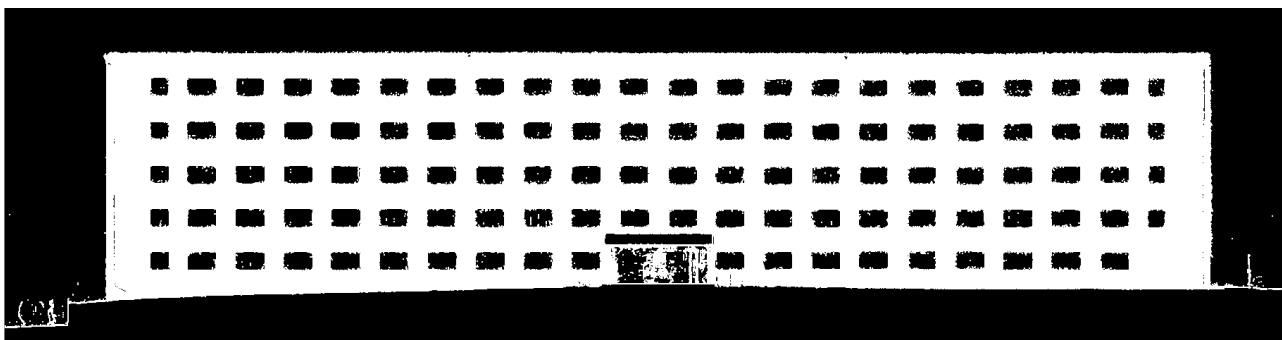


Рис. 3. Исходный массив ТЛО после фильтрации и удаления шумов

Для очистки массива ТЛО был использован гибридный метод, в котором сначала был применен статистический метод, а затем – метод на основе соседства [6]. В результате массив ТЛО очищен от шума и выбросов и пригоден для дальнейшей обработки.

Следующим шагом является классификация точек с целью выделения вертикальных поверхностей из общего массива ТЛО (рис. 4).

Для выполнения этого шага происходило разделение на разные категории с учетом расстояния между фрагментами, при этом игнорировались и отбрасывались маленькие области. В результате классификации были выделены в отдельный класс точки, принадлежащие вертикальным поверхностям [7].

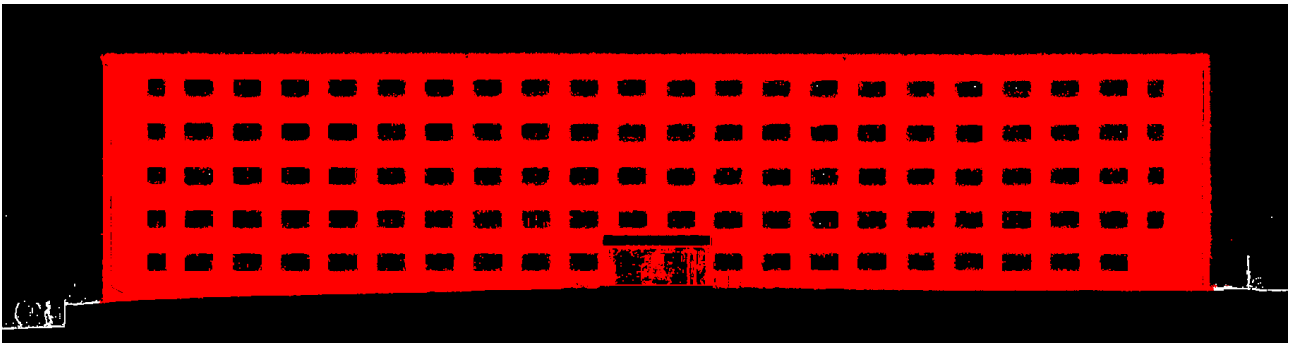


Рис. 4. Исходный массив ТЛО с выделенными стенами

Это позволяет работать дальше только с необходимыми точками, оптимизируя время работы за счет меньшего объема для обработки. В данном случае остались лишние точки внутри контура окон, поэтому было необходимо произвести дополнительную фильтрацию для более тщательной подготовки данных к дальнейшим этапам обработки (рис. 5).

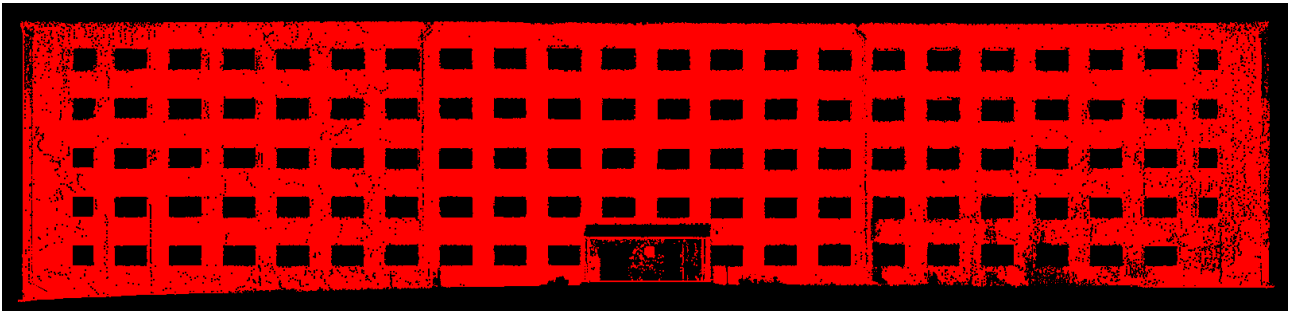


Рис. 5. Исходный массив ТЛО с выделенными стенами, после дополнительной фильтрации

Дополнительная фильтрация была проведена методом изолированной точки множества [8]. Итерационным методом были выбраны наиболее подходящие параметры для данного массива ТЛО, а именно: радиус поиска – 0,05 м, минимальное количество точек – 20. Результат имеет более четко выраженные контуры окон, что повышает качество извлечения контуров.

Следующим шагом является извлечение контуров (рис. 6).

Для извлечения контуров использовался метод извлечения характерных точек, описанный в [9]. Чтобы выделить характерные точки, необходимо определить оптимальное количество соседних точек. Путем итераций было выбрано количество таких точек, равное 24.

Итоговым результатом является массив ТЛО, состоящий из характерных точек. На рис. 6 отчетливо видны участки здания, ближайшие к местам установки наземного лазерного сканера. По краям здания и в центре контуры окон выделены более четко, но также имеют много лишних точек, в то время как между местами установки и на верхних этажах контуры могут быть незамкнуты, что может являться недостатком при дальнейшей обработке.

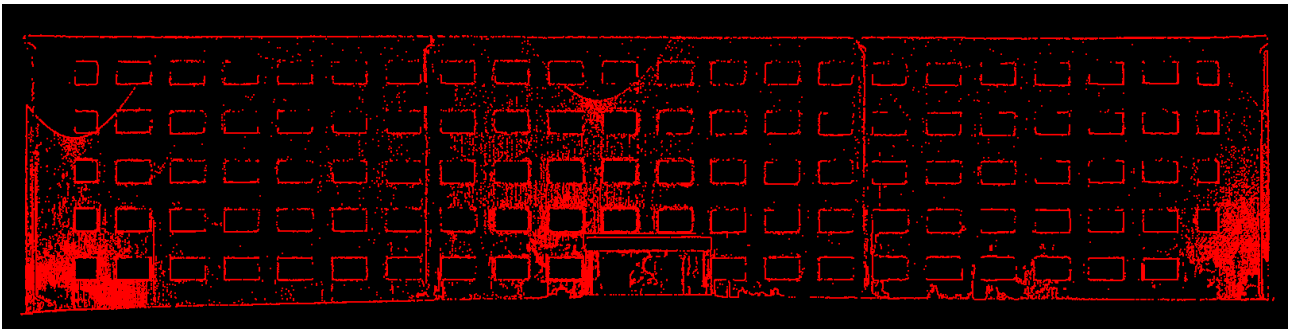


Рис. 6. Массив ТЛО, состоящий из характерных точек

В предыдущем выполненном исследовании автоматизированного выделения контуров по данным наземного лазерного сканирования в целях построения чертежа фасада зданий, описанном в [1], была предложена методика, состоящая из следующего порядка действий. Происходил выбор сечения массива ТЛО, сечение обрабатывалось подобно изображениям, применялась фильтрация, проводилась классификация. В итоге было получено растровое изображение, которое было очищено от лишнего шума и прошло классификацию. Для дальнейшей работы с контурами выполнялась векторизация и получали результат в виде контуров в векторном формате (рис. 7). В том случае в процессе перехода от массива точек к изображению сечения размер пикселей варьировался. Контур становился разомкнутым при уменьшении размера пикселей, при увеличении – каждая точка могла отображаться несколькими пикселями.

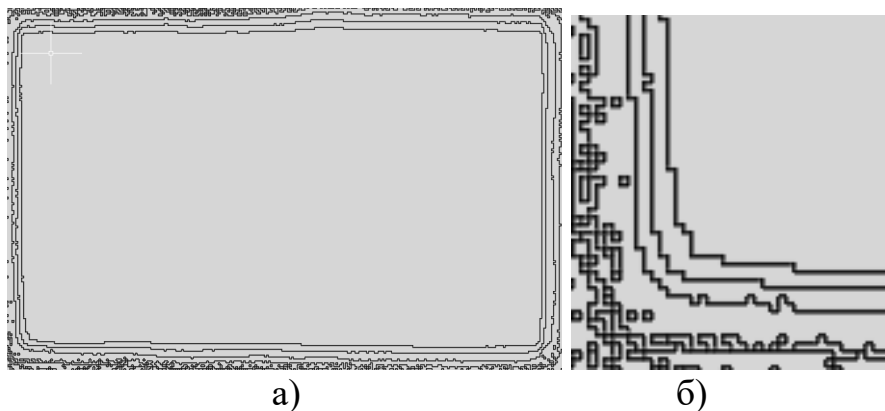


Рис. 7. Окно из сечения массива ТЛО по старой методике:
а) после выполнения методики; *б)* после выполнения методики, увеличенно

В сравнении с результатами прошлого исследования, при выполнении данной методики результатом является не векторное изображение фасада, а массив ТЛО (рис. 8), что дает больше гибкости в редактировании и дальнейшем применении для построения чертежей фасадов.

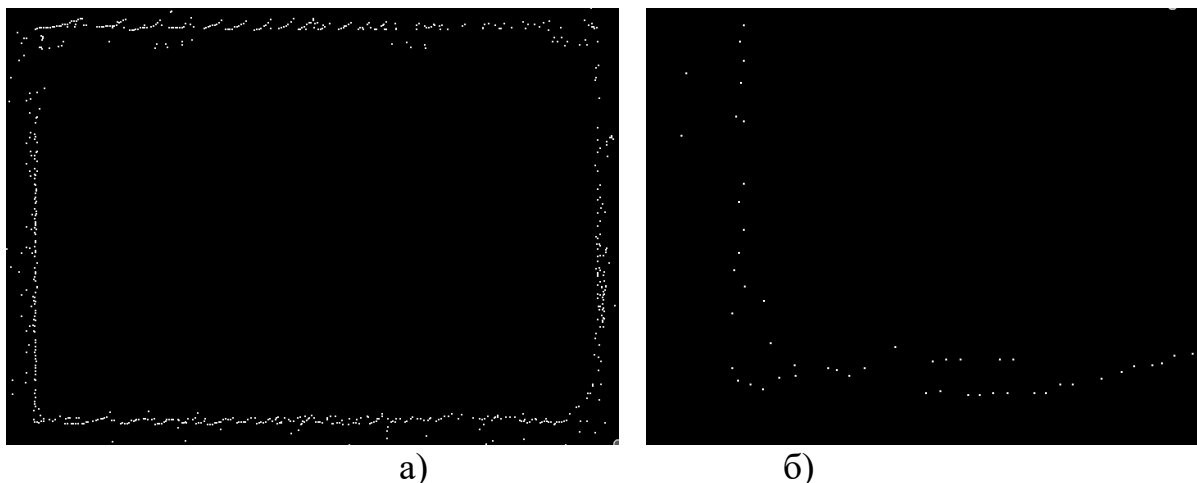


Рис. 8. Окно из сечения массива ТЛО по новой методике:

а) после выполнения методики; б) после выполнения методики, увеличенно

Результаты значительно различаются. При использовании нового метода обработки заметно, что количество вершин значительно уменьшилось, контур более приближенным к прямоугольной форме. Дополнительным преимуществом является результат в виде массива ТЛО, что дает больший комфорт в работе, так как из массива ТЛО всегда можно перевести в векторный вид, а вот обратно – не всегда.

Заключение

Результатом предложенной методики являются извлеченные контуры в виде характерных точек. Полученный результат может быть отредактирован и использован для разработки чертежей фасадов. Благодаря гибкости предложенной методики, можно применять индивидуальный подход к каждому объекту.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Алтынцев М. А., Геращенко Г. Д. Автоматизированное извлечение контуров по данным лазерного сканирования при фасадной съемке // Интерэкспо ГЕО-Сибирь 2023. XIX Междунар. науч. конгр.: Междунар. науч. конф. «Геодезия, геоинформатика, картография, маркшейдерия»: сб. материалов (Новосибирск, 17–19 мая 2023 г.). – Новосибирск: СГУГиТ, 2023. – С. 3–15.
2. Алтынцев М. А., Геращенко Г. Д. Исследование точности трехмерного моделирования по данным съемки с помощью наземного лазерного сканера Geomax Zoom 300 // Интерэкспо ГЕО-Сибирь-2022. XVIII Междунар. науч. конгр.: Междунар. науч. конф. «Геодезия, геоинформатика, картография, маркшейдерия»: сб. материалов (Новосибирск, 18–20 мая 2022 г.). – Новосибирск: СГУГиТ, 2022. – С. 76–85.
3. X-PAD Office Fusion [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://geomax-positioning.com/ru-ru/products/software/x-pad-suite/x-pad-fusion>.
4. Rakotosaona M.-J., Barbera V. L., Guerrero P., Mitra N. J., Ovsjanikov M. Pointcleannet: learning to denoise and remove outliers from dense point clouds // arXiv:1901.01060v3. – 2019. – P. 1–17.
5. Грохольский, Д. В. Классификация облаков точек и создание ЦММ в новой версии программы КРЕДО 3D СКАН / Д. В. Грохольский, П. В. Кухто. – Текст: непосредственный //

Научно-технический журнал по геодезии, картографии и навигации "Геопрофи". – 2019. – № 4. – С. 12-15.

6. Zaman, F., Wong, Y. P., & Ng, B. Y. (2016). Density -based denoising of point cloud. ArXiv preprint arXiv:160205312.

7. Ткачева, А. А. Классификация облака точек лазерного сканирования в задаче реконструкции естественных ландшафтных сцен / А. А. Ткачева. – Текст: непосредственный // DSPA: вопросы применения цифровой обработки сигналов. – 2019. – № 3. – С. 22-24.

8. Пинус, А. Г. Об окрестностях и изолированных точках в пространствах функциональных клонов на множествах / А. Г. Пинус. – Текст: непосредственный // Алгебра и логика. – 2020. – № 3. – С. 334-343.

9. Xijiang, Chen An Efficient Global Constraint Approach for Robust Contour Feature Points Extraction of Point Cloud / Chen Xijiang, Zhao Bufan. – Текст: непосредственный // IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing. – 2023. – № 63. – С. 1-16.

© М. А. Алтынцев, Г. Д. Геращенко, 2024