

Алгоритмы комплексирования данных лазерного сканирования с картографическими и спутниковыми данными

Рихтер А.А.^(a), Мурынин А.Б. ^(a, b), Воробьёв В.Е.^(a)

(a) Научно-исследовательский институт аэрокосмического мониторинга
"АЭРОКОСМОС", г. Москва

(b) Федеральный исследовательский центр "Информатика и управление" РАН

urfin17@yandex.ru

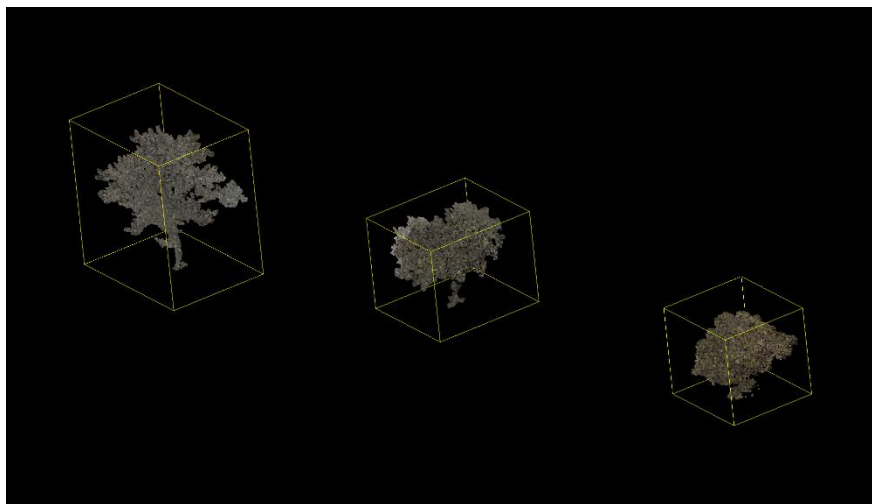
Докладчик – Рихтер Андрей

Постановка задачи

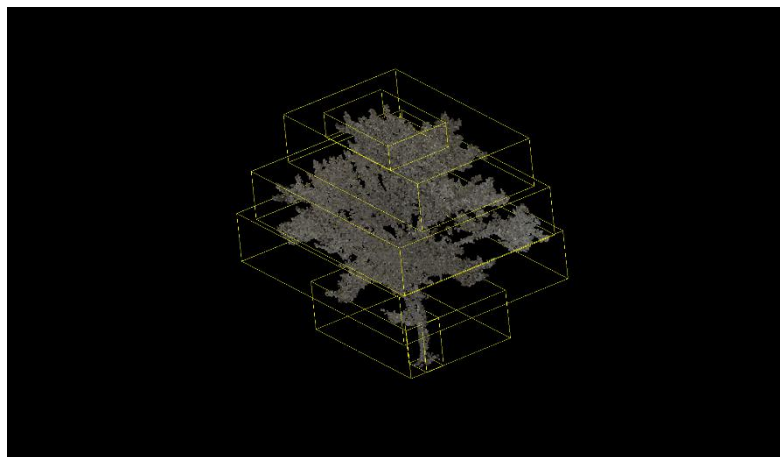
- Данные лазерного сканирования (облака точек) имеют особенности, отличающие их от данных спутниковой съёмки. С одной стороны, это преимущества: наличие трёхмерной информации о сканируемых объектах, которая даётся априорно, без привлечения дополнительных вычислений; геометрическая точность трёхмерных данных; независимость качества данных от условий освещения и др. С другой стороны, это недостатки: ограничение спектральной информации; высокая стоимость; ограниченность покрытия и доступности данных.
- Предлагается комплексировать картографические и спутниковые данные с данными лазерного сканирования по области интереса, посредством локализации на облаке точек выявляемых информативных областей и векторизации облаков точек в каждой области

Облака точек

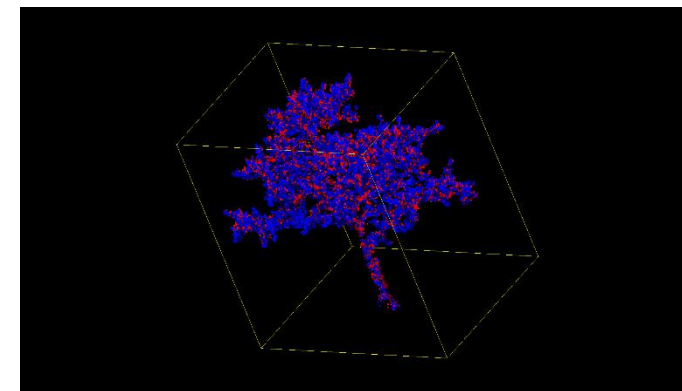
Облако точек – набор точек в трёхмерном пространстве, соответствующих наблюдаемым объектам, заданных трёхмерными координатами. Это цифровая трехмерная копия реального объекта, созданная не из сплошных поверхностей (как в полигональных моделях), а из большого количества отдельных точек. Каждая точка, помимо координат, задаётся дополнительными атрибутами (скалярными полями).



Связные компоненты



Слои



Кластеры

Объекты интереса и методика сканирования

№	Категория объектов интереса	Сканирующая аппаратура	Методика сканирования
1	Дороги и объекты придорожной инфраструктуры, заслоненные растительностью и другими препятствиями	GreenValley LiAir V60. Воздушная съемка с беспилотной воздушной системы (БВС) / DJI L1	Оператор с БВС снимает с 40-50 м над землёй автомобильную дорогу в несколько пролетов
2	Подземные и надземные части зданий, скрытые несущими стенами	XGRIDS Lixel L2 (ручной лазерный сканер)	Оператор с привязкой к высокоточной системе позиционирования (RTK) перемещается вокруг здания для географической привязки, затем без географической привязки заходит со двора в помещение и снимает так несколько облаков, которые затем соединяются по геопривязке

Группы операций по обработке облаков точек и векторной информации

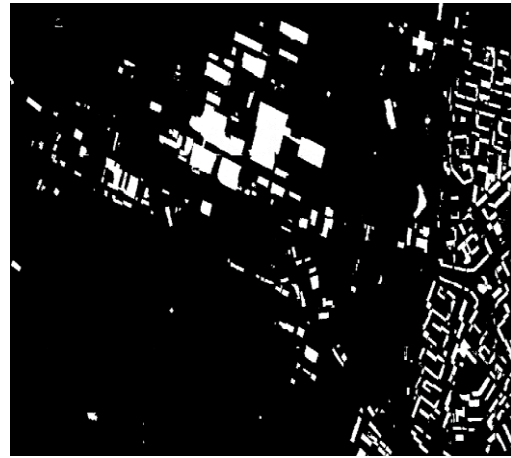
№	Группы операций	Примеры
1	По обработке облаков точек	
1.1	Операции по преобразованию облаков	
1.1.1	По матрицам трансформации	Создание матрицы по смещению
1.1.2	По преобразованиям облаков на базе матриц трансформации	Смещение облака
1.1.3	По оптимизации облаков	Расчёт ориентации облака
1.1.4	По фильтрации облаков	Пороговая фильтрация гистограммы
1.1.5	По сэмплированию облаков	Разряжение облака до заданного размера
1.1.6	По облакам и изображениям	Наложение изображения на облако
1.2	Операции по облачной геометрии	
1.2.1	По расчёту линейных, площадных и объёмных характеристик	Расчёт объёма облака
1.2.2	По обработке вспомогательных типов геометрии	Расчёт средней плоскости
1.2.3	По обработке боунбоксов облаков	Сложение боунбоксов
1.3	ПО компонентам облаков	
1.3.1	По слиянию и разделению облаков	Расчёт связанных компонент облака
1.3.2	По выделению инлайеров и аутлайеров	Расчёт плоскостей ransac
1.3.3	По выделению участков облаков	Расчёт слоёв облака
1.3.4	По скалярным полям облака	Переименование имени скалярного поля

№	Группы операций	Примеры
2	По векторной обработке	
2.1	Операции над объектами (двухмерными и трёхмерными)	
2.1.1	Булевы операции над объектами	Пересечение полигонов
2.1.2	Операции отношений объектов	Проверка, лежит ли точка в полигоне
2.1.3	Трансформация объектов	Офсет полигонов
2.1.4	По расчёту геометрических характеристик объектов	Расчёт объёма гексаэдра
2.2	Операции над группой объектов (двухмерных и трёхмерных)	
2.2.1	По расширению геометрии	Интерполяция типовыми объектами
2.2.2	По детектированию геометрии	Детектирование параллельных отрезков
2.2.3	По структуризации геометрии	Расчёт ортогональных групп векторов
2.2.4	Операции над графами	Расчёт циклического базиса неориентированного графа
2.3	Операции над путями и их группами (двухмерными и трёхмерными)	
2.3.1	По трансформации путей и их групп	Сегментация путей
2.3.2	По дешифрированию путей и их групп	Расчёт ключевых точек

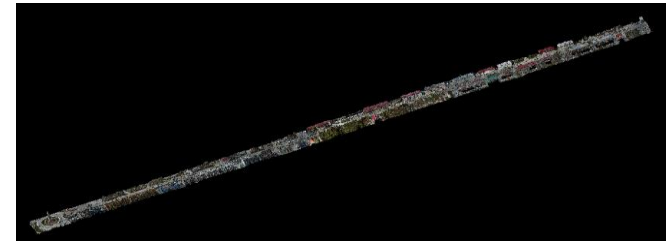
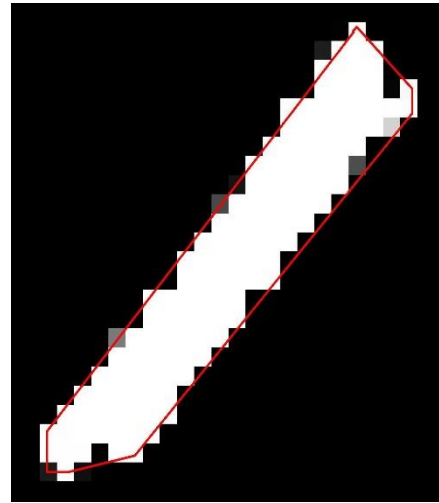
Общая схема метода



Геолокации картографических и спутниковых данных



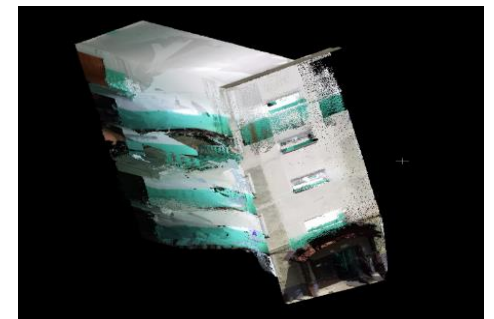
Семантическая сегментация зданий (Ресурс-П)



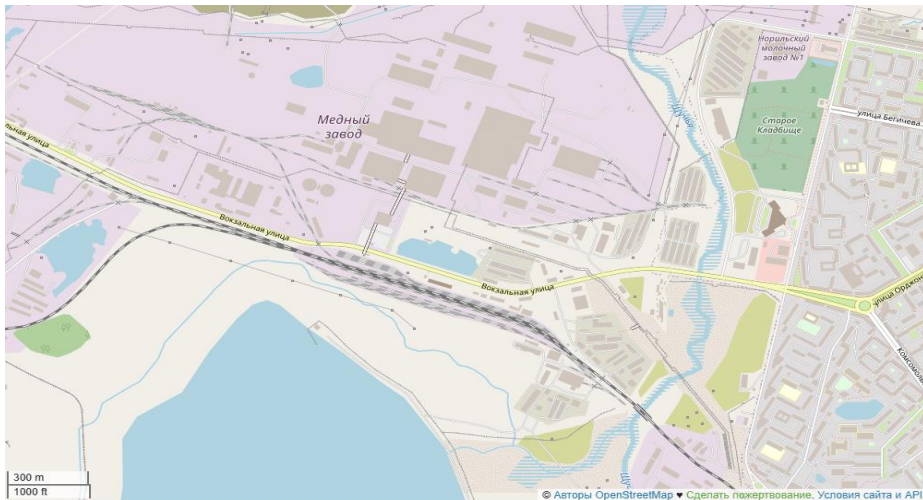
Облако участка города



Облако здания



Облако участка здания

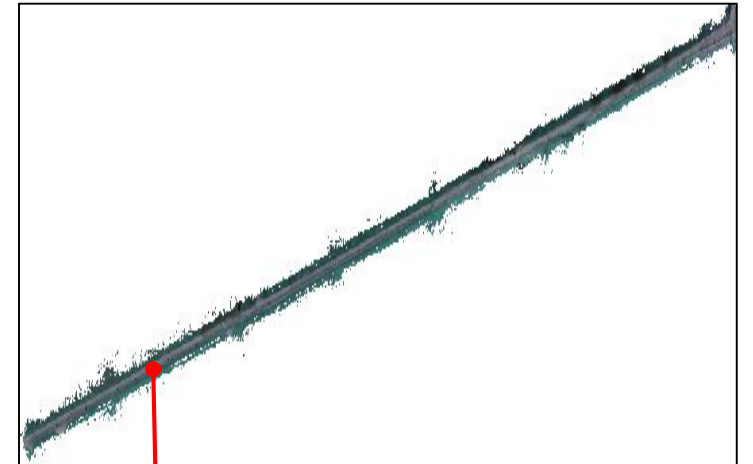
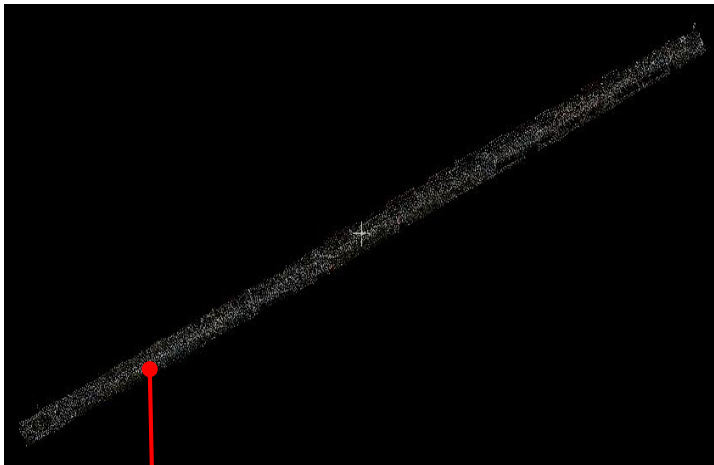


Картографирование зданий

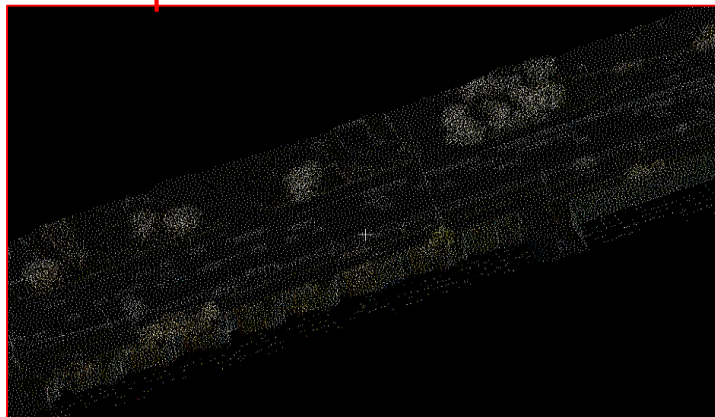


Ограничивающие полигоны здания

Формы предобработки облака точек



Фильтрация надземной части
облака точек



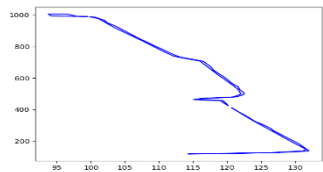
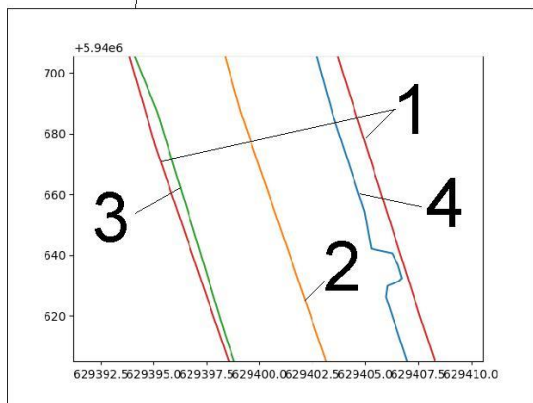
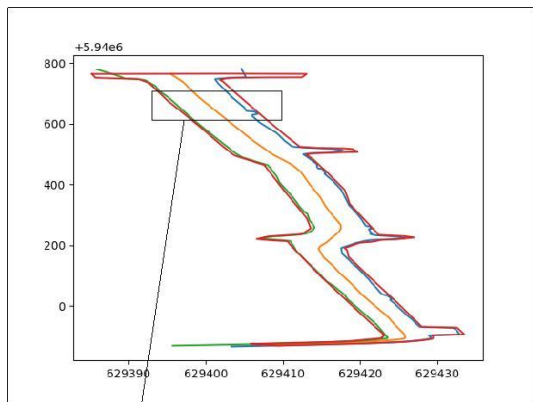
Сэмплирование (уменьшение
плотности точек)



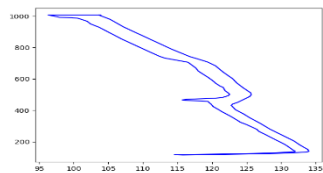
Растреризация (с маленьким
шагом растровой сетки)

Облако точек улицы (автомобильной дороги)

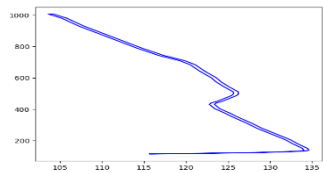
Зонирование области наблюдения



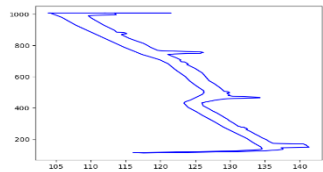
А



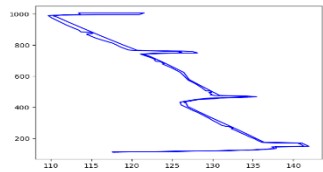
Б



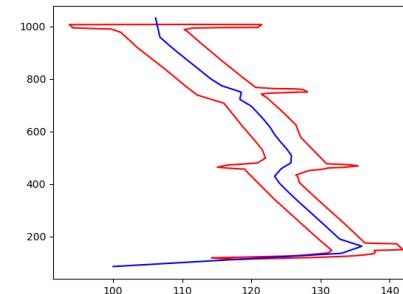
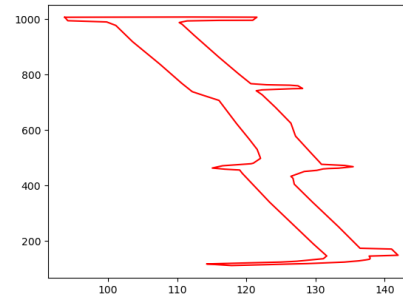
В



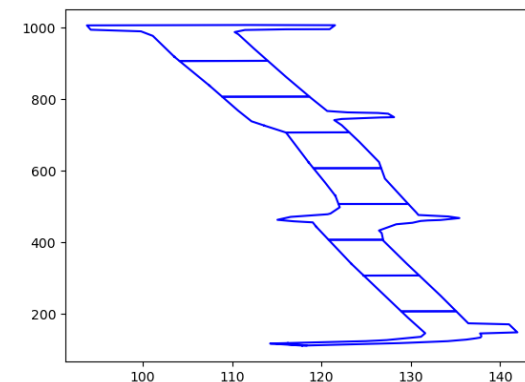
Г



Д



Расчёт оси дороги по полигону дороги



Тайлирование полигона и облака дороги

- 1 – область дороги
- 2 – ось дороги
- 3 – линия левой обочины
- 4 – линия правой обочины

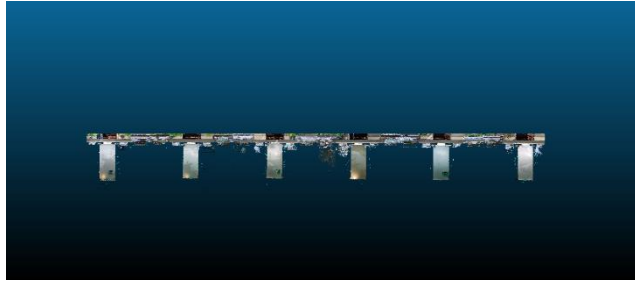
- А – зона левой обочины
- Б – зона левой полосы
- В – центральная зона
- Г – зона правой полосы
- Д – зона правой обочины

Расчёт зон дороги из набора векторных компонент

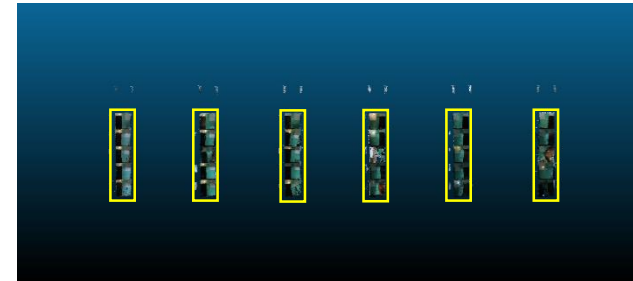
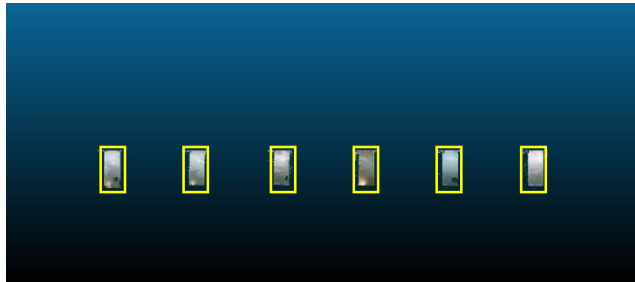
Разложение «вдоль» и «поперёк»

Зонирование области наблюдения

Здание



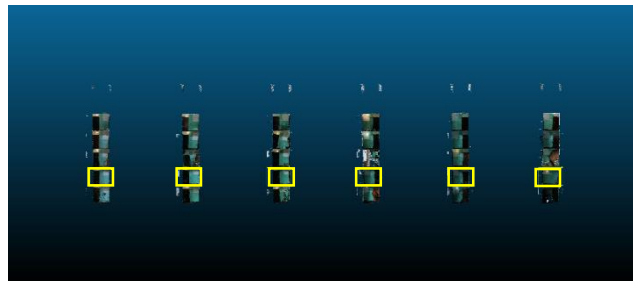
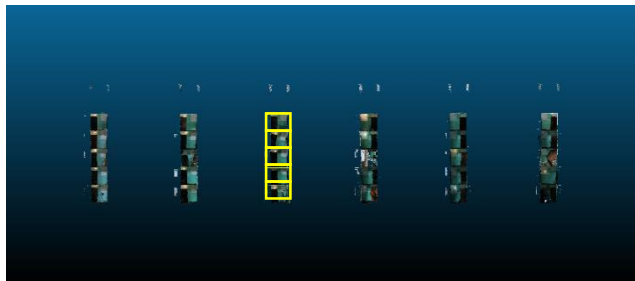
Подъезды
здания



Вид сверху

Вид спереди

Этажи
подъездов



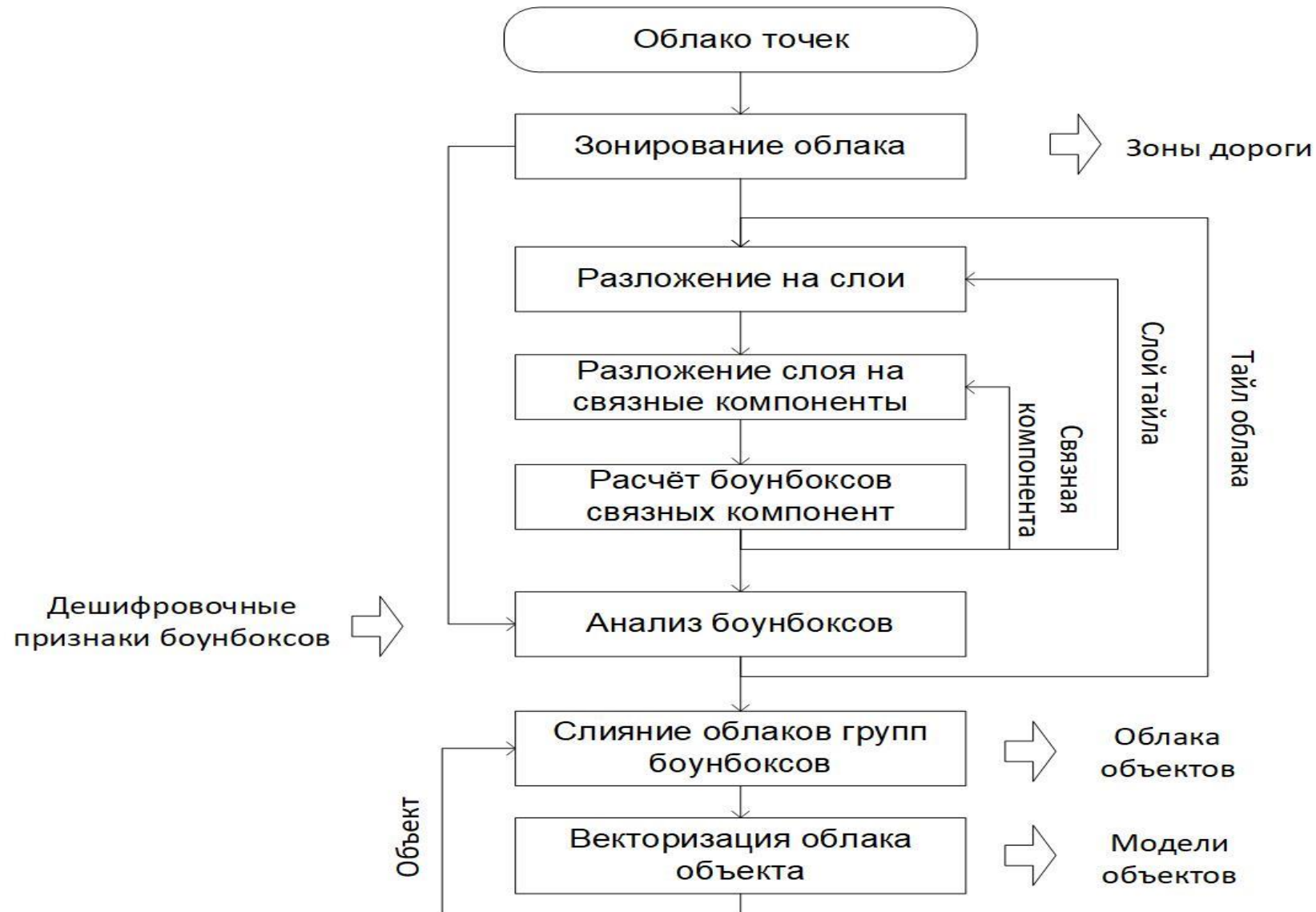
Вид спереди



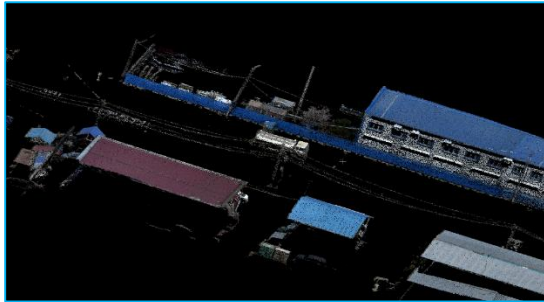
Типовая
планировка

Регуляризация – процесс разбиения облака на логические блоки (регулярные части) по некоторому отображению, в котором учитывается типизация и возможно периодичность ограничивающих полигонов

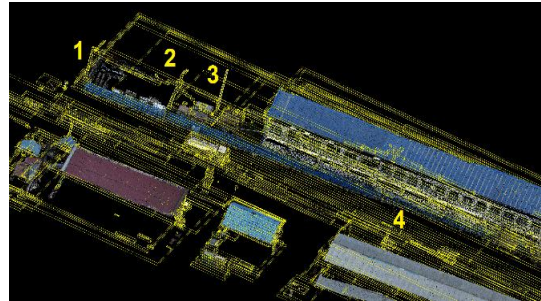
Схема обработки облака дороги и придорожной инфраструктуры



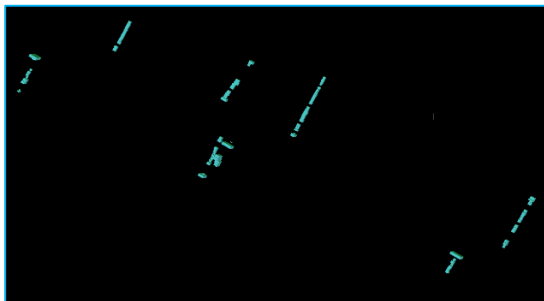
Сегментация фонарей на участке улицы



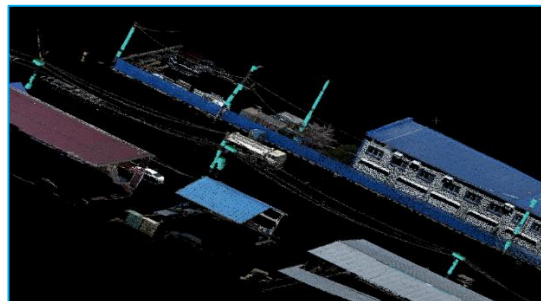
Участок облака дороги



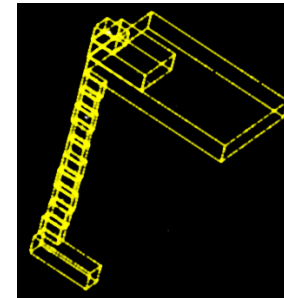
Расчёт боунбоксов
СВЯЗНЫХ КОМПОНЕНТ



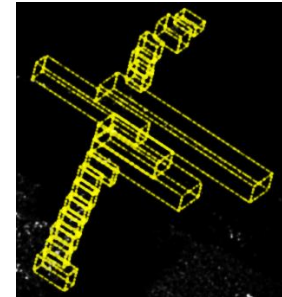
Сегментация фонарных
столбов



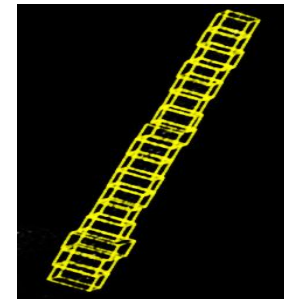
Наложение
сегментации на облако
дороги



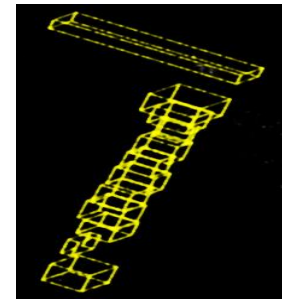
1



2



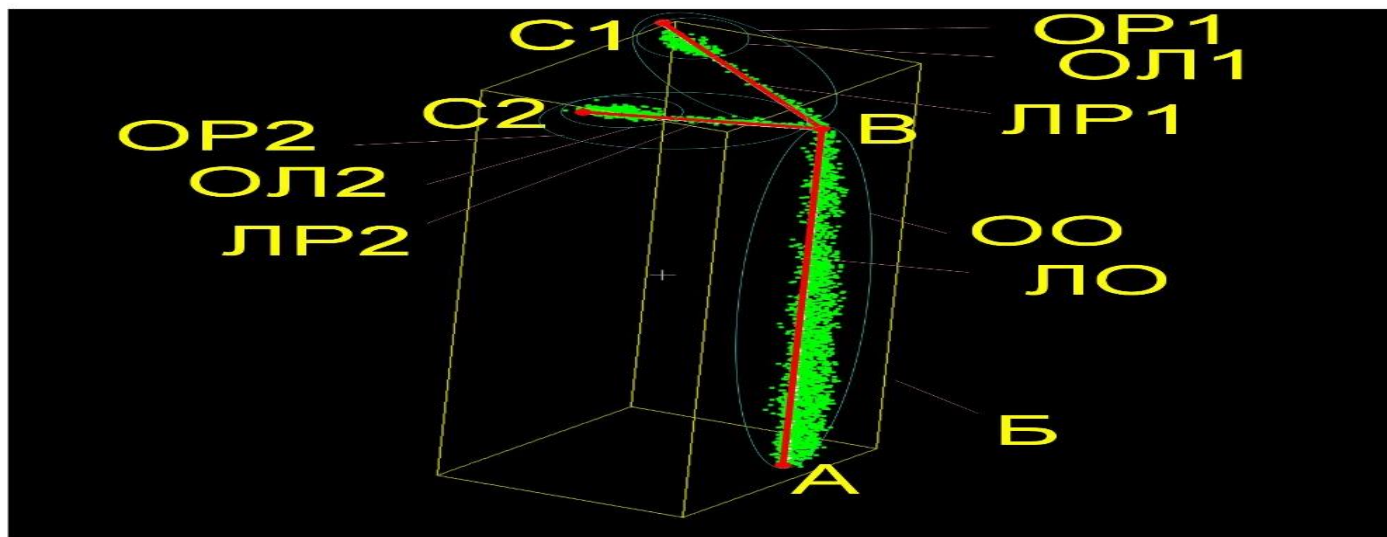
3



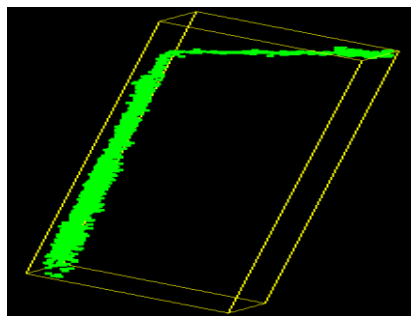
4

Группы боунбоксов, соответствующих
дешифровочным признакам объектов

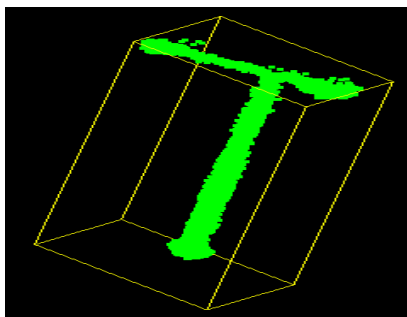
Структура облака фонаря



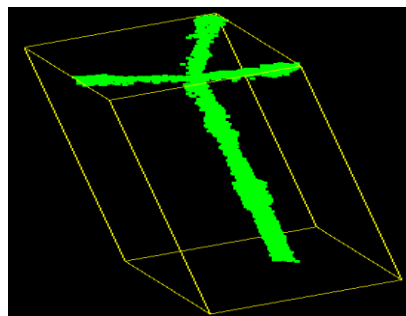
Компоненты облака



1



2



3

Облака фонарей с разным числом рогов

Б – боунбокс облака, полученного по результатам слияния облаков боунбоксов, составляющих группу боунбоксов

ОО – облако опоры фонаря

OP i – облако i -го рога фонаря

OL – облако лампы i -го рога фонаря, $i = 1 \dots t$

t – количество рогов фонарей

A – точка основания фонаря,

B – точка разветвления

C1 и C2 – центры освещения ламп рогов 1 и 2

ЛО – линия облака OO

LP i – линия облака OP i

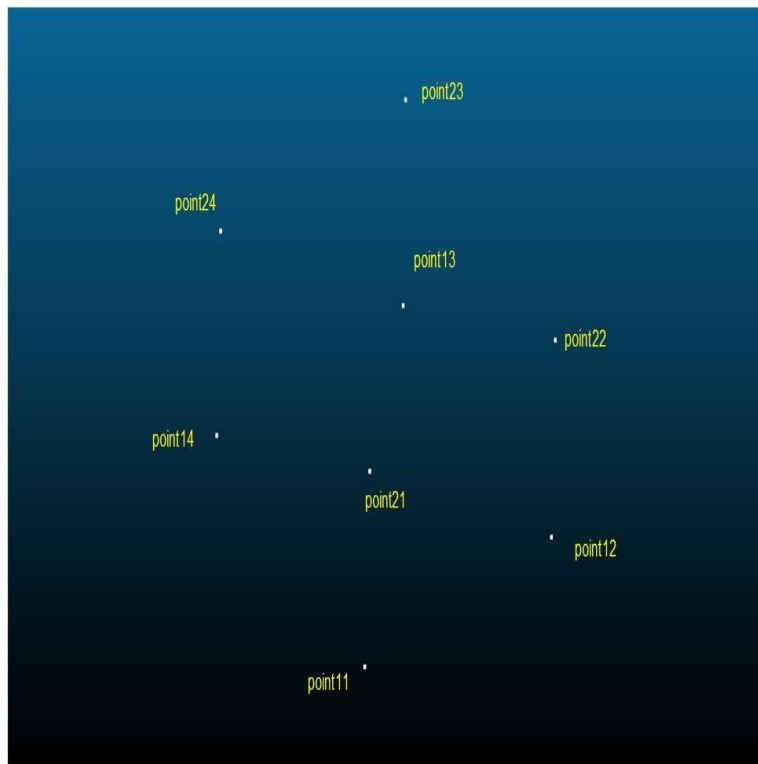
Оценка геометрических параметров фонарного столба

№	Параметр	Ед. изм.	Код	Значение
1	Номер объекта	-	cloud_num	53
2	Код объекта	-	cloud_name	class #53
3	Угол наклона к плоскости XY	гр	post_angle_XY	89.65931
4	Угол наклона к плоскости XZ	гр	post_angle_XZ	89.83331
5	Угол наклона к плоскости YZ	гр	post_angle_YZ	89.70287
6	Общая высота	м	height	10.15645
7	Высота опоры	м	post_height	8.697
8	Размер боунбкса по X	м	bbox_X	2.97
9	Размер боунбкса по Y	м	bbox_Y	2.482
10	Размер боунбкса по Z	м	bbox_Z	10.125
11	Число рогов	-	cou_horn	2
12	Длины рога 1	м	horn_len_1	2.624
13	Длина рога 2	м	horn_len_2	2.577
14	Абсцисса точки основания (A)	м	bottom_X	23.428
15	Ордината точки основания	м	bottom_Y	13.774
16	Апplikата точки основания	м	bottom_Z	58.173
17	Абсцисса точки разветвления (B)	м	branch_X	33.124
18	Ордината точки разветвления	м	branch_Y	22.471
19	Апplikата точки разветвления	м	branch_Z	66.87
20	Абсцисса центра освещения лампы рога 1 (C1)	м	lamp_X_1	24.282
21	Абсцисса центра освещения лампы рога 1	м	lamp_Y_1	15.987
22	Абсцисса центра освещения лампы рога 1	м	lamp_Z_1	68.092
23	Абсцисса центра освещения лампы рога 2 (C2)	м	lamp_X_2	21.433
24	Абсцисса центра освещения лампы рога 2	м	lamp_Y_2	14.922
25	Абсцисса центра освещения лампы рога 2	м	lamp_Z_2	68.028

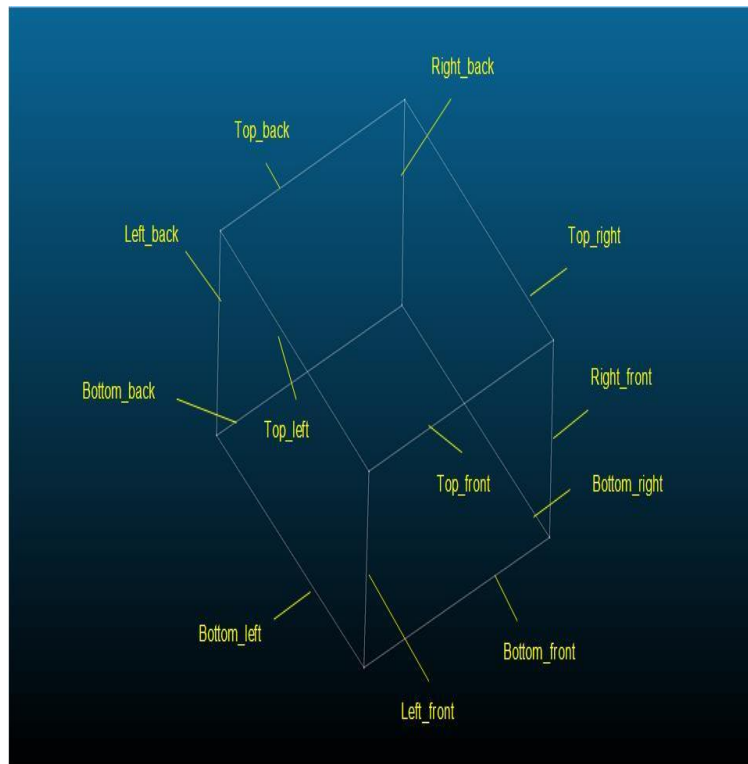
Схема обработки облака здания



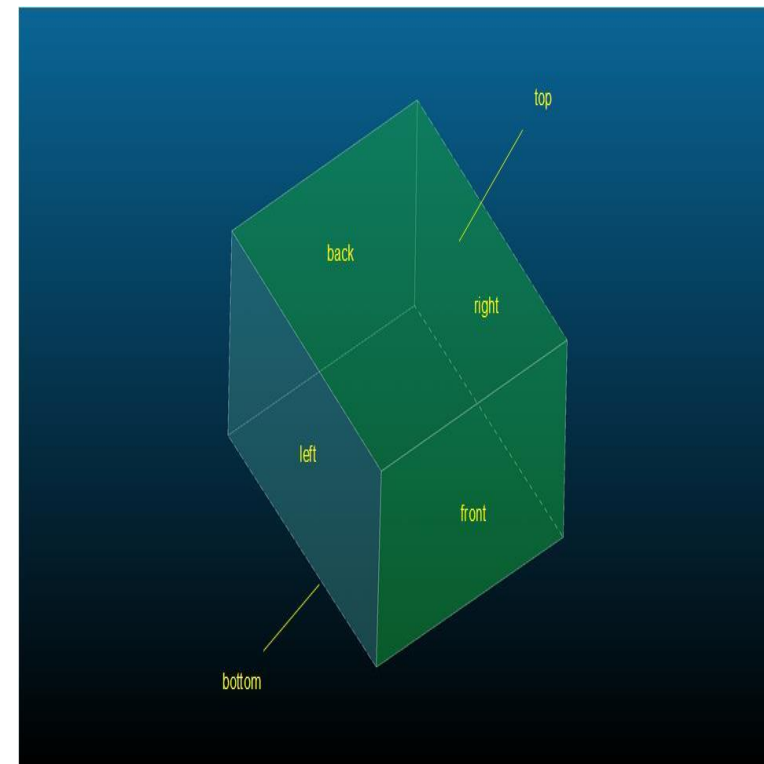
Компоненты геометрической модели помещения



Точки

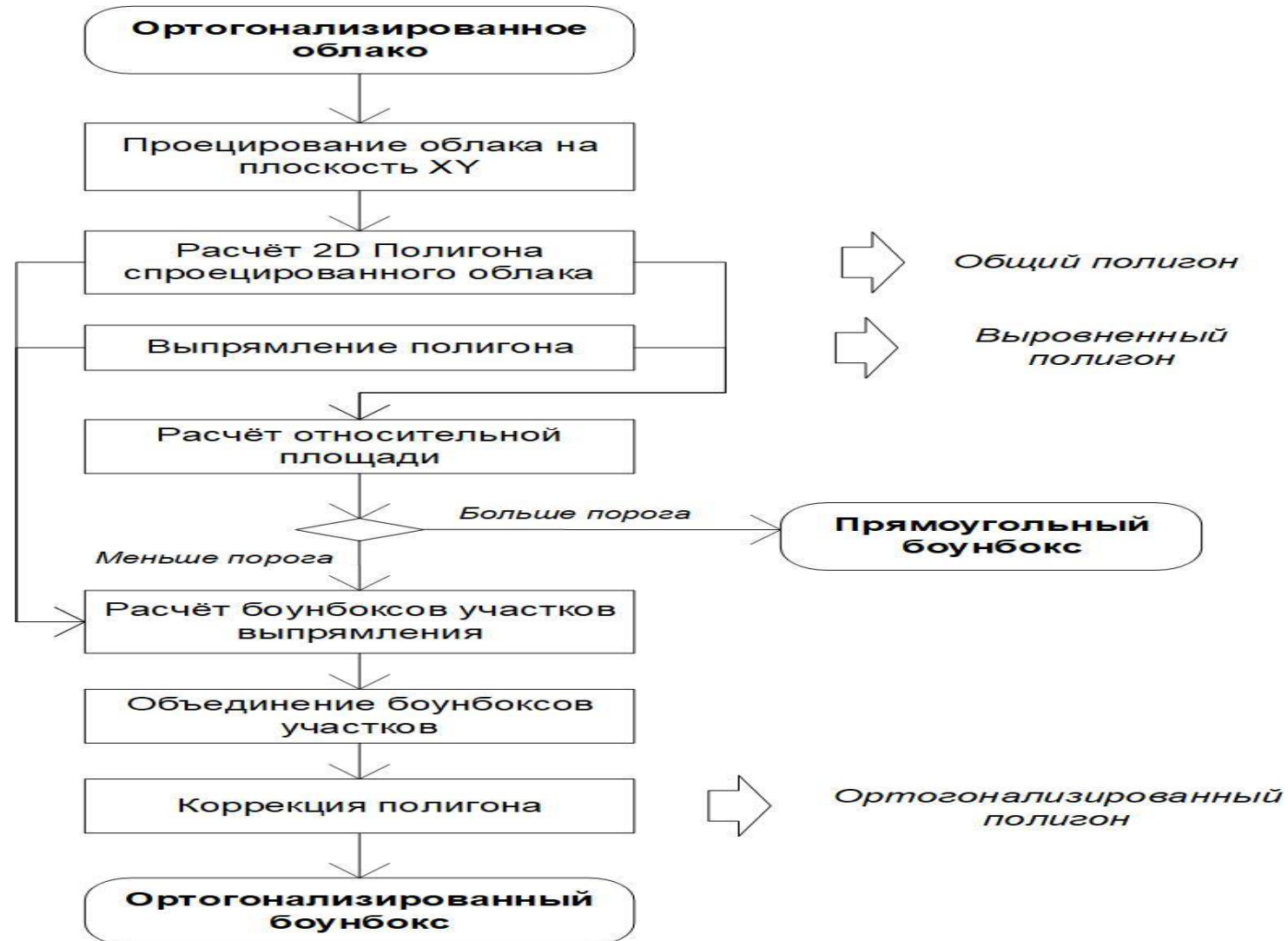


Рёбра

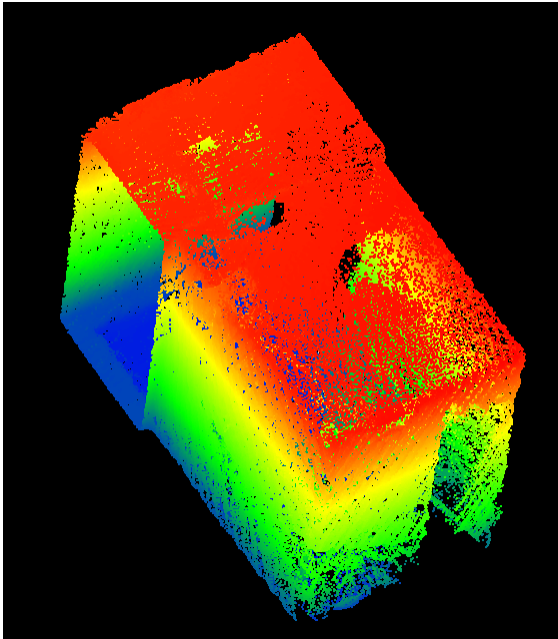


Грани

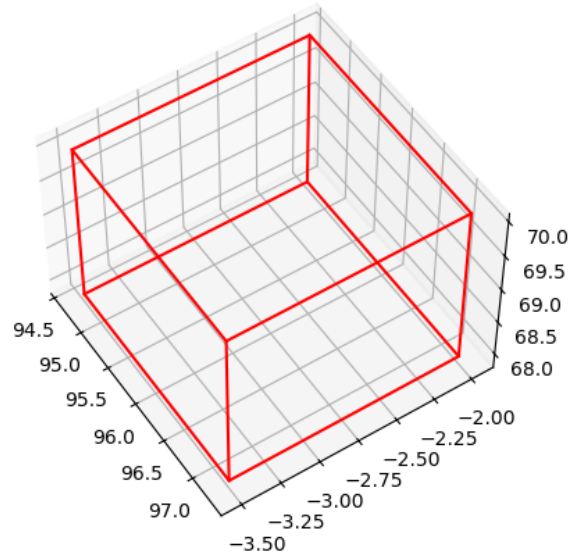
Алгоритм расчёта боунбоксов



Примеры облаков помещений и их боунбоксов

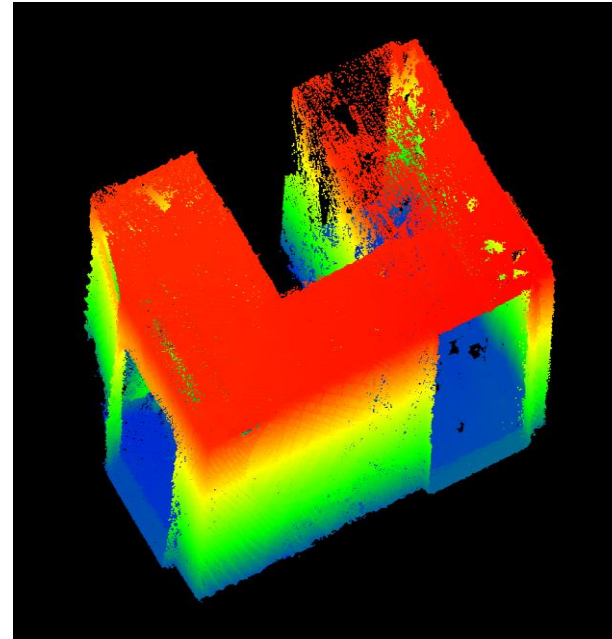


Облако помещения

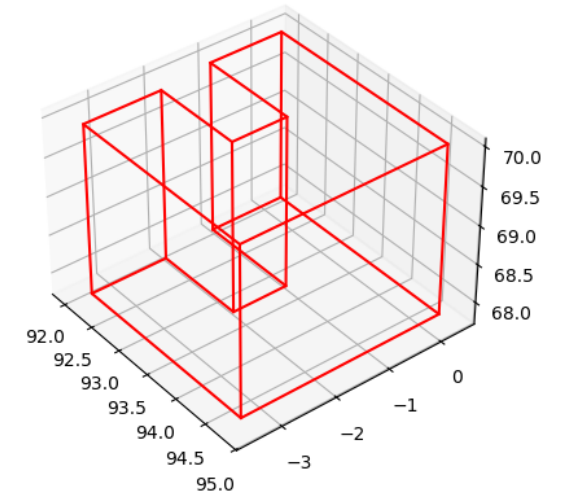


Прямоугольный
боунбокс

Помещение прямоугольной формы



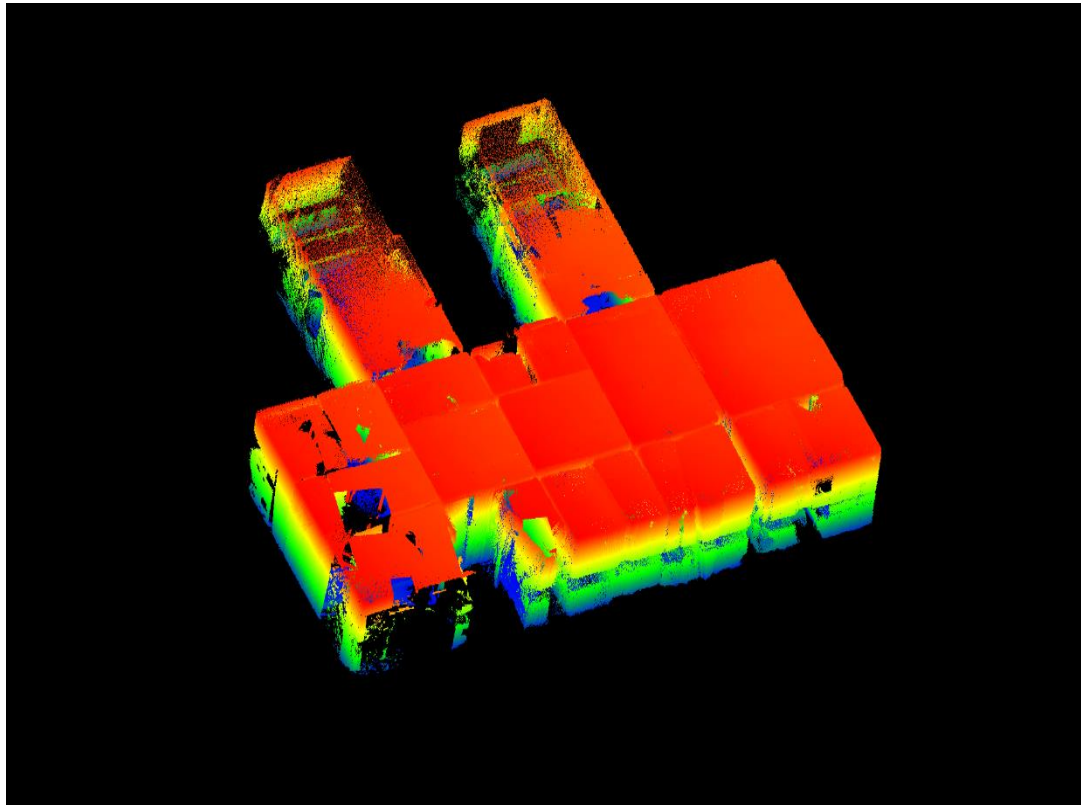
Облако помещения



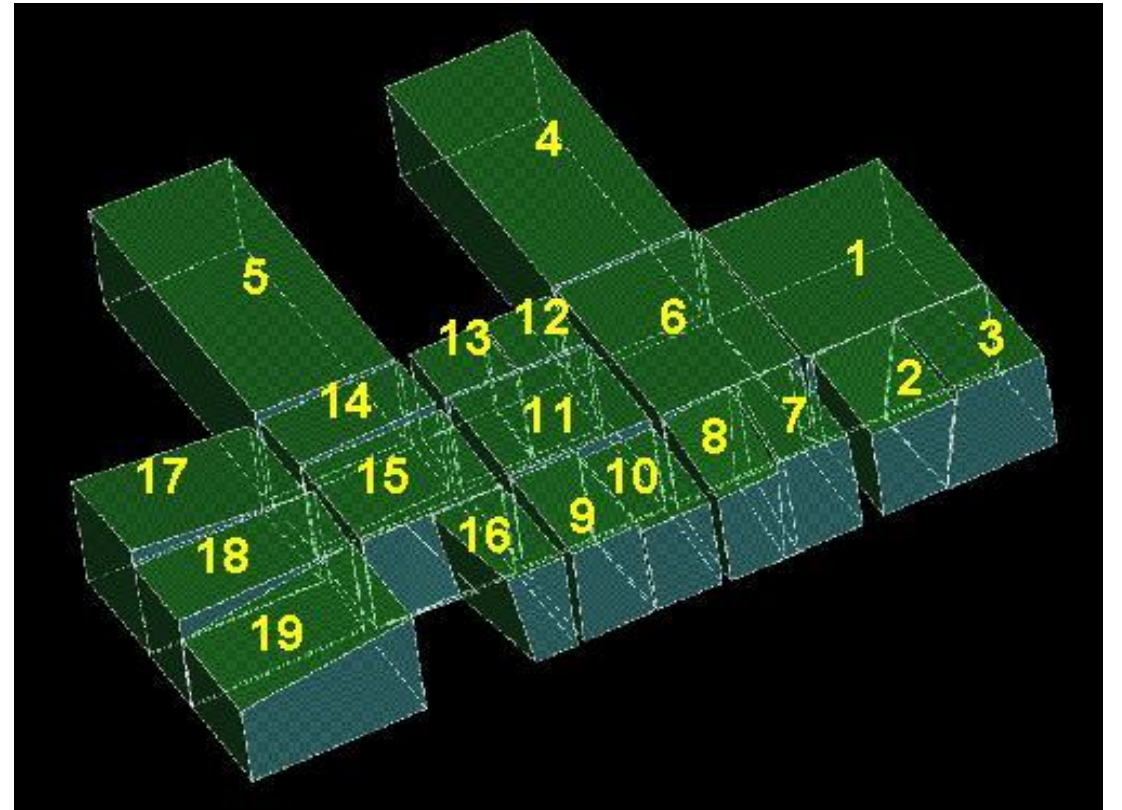
Ортогонализированный
боунбокс

Помещение ортогонализированной формы

Пример расчёта геометрии помещений



Облако точек



Геометрическая модель

*Жилое, пятиэтажное здание
Подвальные помещения подъезда 1*

Оценка геометрических параметров помещения

№	Параметр	Ед. изм.	Код	Значение
1	Номер объекта	-	cloud_num	1
2	Код объекта	-	cloud_name	class #1
3	Площадь пола	м2	floor_area	10.89
4	Площадь потолка	м2	ceil_area	11.12
5	Периметр от пола	м	floor_perimeter	10.13
6	Периметр от потолка	м	ceil_perimeter	10.19
7	Полный объём	м3	volume	2675.47
8	Минимальная высота	м	height_min	1.83
9	Максимальная высота	м	height_max	1.96
10	Число стен	-	cou_ceil	4
11	Суммарная площадь стен	м2	wall_area_sum	25.21
12	Угол наклон стены 1	гр	wall_angle_1	86.85
13	Угол наклон стены 2	гр	wall_angle_2	89.33
14	Угол наклон стены 3	гр	wall_angle_3	89.1
15	Угол наклон стены 4	гр	wall_angle_4	89.51
16	Угол между стенами 1 и 2	гр	wall_angle_1_2	90
17	Угол между стенами 2 и 3	гр	wall_angle_2_3	90.2
18	Угол между стенами 3 и 4	гр	wall_angle_3_4	90.16
19	Угол между стенами 4 и 1	гр	wall_angle_4_1	89.95
20	Угол наклона пола	гр	floor_angle	0.602
21	Угол наклона потолка	гр	ceil_angle	1.711

Выводы

В работе предложено целостное решение для перехода от неструктурированных облаков точек к интерпретируемым векторным моделям сложных антропогенных объектов.

По результатам исследований и разработки можно сделать следующие выводы:

1. Комплексирование данных. Предложенный метод позволяет сочетать данные дистанционного зондирования (спутниковые снимки, картографические данные) с детальными облаками точек, полученными методами наземного и воздушного лазерного сканирования. Это обеспечивает получение информации об объектах, неразличимых или скрытых на стандартных изображениях;

2. Универсальность алгоритмов. Разработанный трёхэтапный подход (разложение, векторизация, морфологический анализ) адаптируем для широкого класса антропогенных объектов, таких как дороги, придорожная инфраструктура и здания, и конструируется из множества фундаментальных алгоритмов обработки облачной, растровой и векторной информации;

3. Эффективная обработка большого объема данных. Для работы с масштабными облаками точек предложена модель тайлирования с различными схемами разбиения, что позволяет распределить вычислительную нагрузку и обрабатывать данные частями с последующим слиянием результатов.

Выводы

4. Практическая значимость. На реальных примерах продемонстрирована практическая применимость метода:

- Для дорог: автоматизированное выделение векторов полотна, оси и обочин, зонирование вдоль и поперёк дороги, построение геометрических моделей фонарных столбов и расчёт их параметров;

- Для зданий: выделение облаков помещений как с типовой, так и с индивидуальной планировкой, построение геометрических моделей помещений и расчёт их параметров (площадь, объём, углы наклона стен и т.д.);

5. Инструментальная реализация. Алгоритмическая и программная реализация метода базируется на использовании популярного программного продукта CloudCompare и его Python-интерфейса CloudComPy, что обеспечивает его доступность и воспроизводимость для научного и инженерного сообщества.

Благодарности

- Выражаем благодарность Акционерному обществу «Тазмар АйТи-солюшнз» (г. Санкт-Петербург) за комплексное и всестороннее содействие в научном процессе.