

Метод построения 3D-модели объектов поверхности земли по одному космическому изображению и его применение в задаче космического мониторинга объектов захоронения отходов

Рихтер А.А. (1); Мурынин А.Б. (1, 2); Игнатьев В.Ю. (1)

1/ НИИ АЭРОКОСМОС

Москва, Гороховский пер., 4, 105064, Россия

E-mail: www.aerocosmos.info

2/ Вычислительный центр РАН

Москва, ул. Вавилова, 40, 680021, Россия

E-mail: www.ccas.ru

Докладчик: Рихтер Андрей Александрович

Постановка задачи

Предлагается метод получения 3D-модели объектов местности, использующий данные одного снимка. Метод состоит в построении привязанной к объекту пространственной системы координат посредством выбора опорных точек на изображении. Формируется трехмерный образ, вычисляемый преобразованием их координат на изображении в пространственные координаты, привязанные к объекту. Расчет 3D-моделей может быть проведен для антропогенных объектов «правильной» формы (прямоугольной, пирамидальной, цилиндрической) оптимальным выбором подходящей к ним пространственной системы координат. Привязкой точек, линий и полигонов к изображению системы координат формируется 3D-образ объекта, в котором всем компонентам объекта, обнаруживаемым на изображении, находятся аффинные преобразования и модель трехмерных координат.

Методика построения 3D-модели по одному изображению



π – плоскость изображения
 OA, OB, OC – ортогональные ребра здания
 (x, y) – координаты в плоскости изображения
 m_x, m_y, m_z – масштабирующие коэффициенты
 L – линейные размеры
 k – пространственное разрешение

$$CO' \perp EO' \perp DO'$$

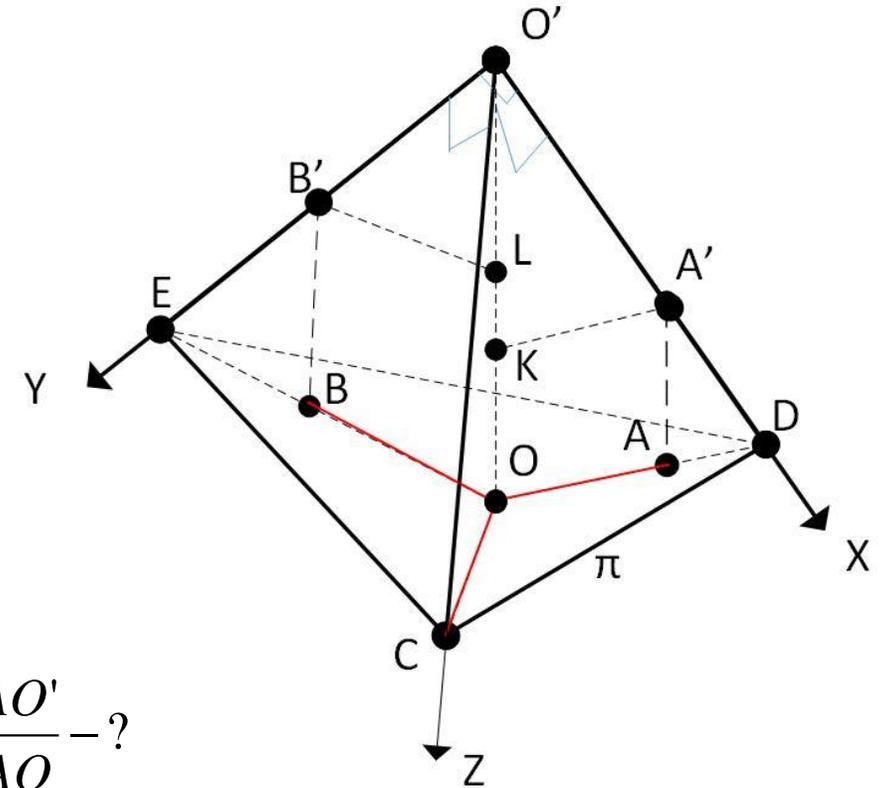
$$OO', AA', BB' \perp \pi$$

$$O = (x_O, y_O)$$

$$A = (x_A, y_A)$$

$$B = (x_B, y_B)$$

$$C = (x_C, y_C)$$



$$m_x = \frac{AO'}{AO} - ?$$

$$m_y = \frac{BO'}{BO} - ?$$

$$m_z = \frac{CO'}{CO} - ?$$

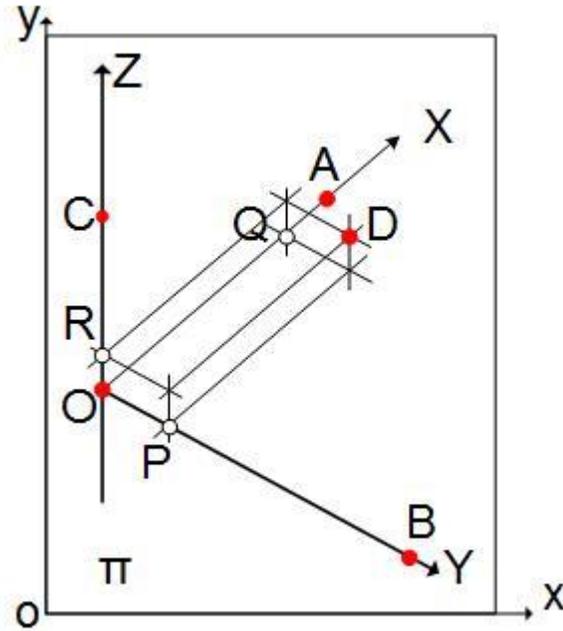
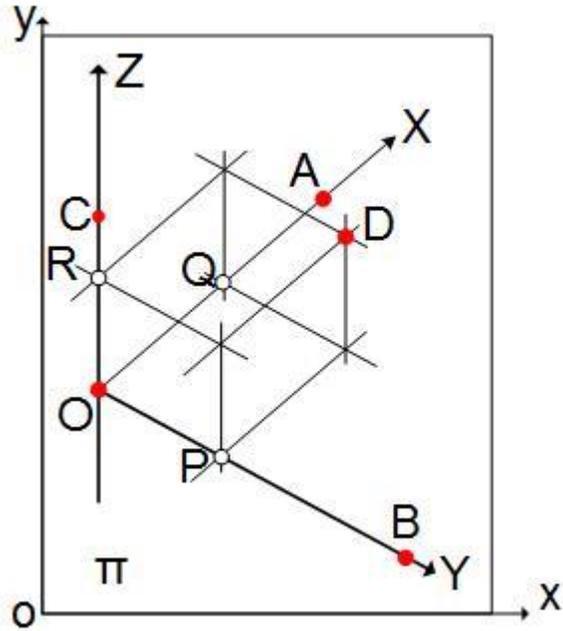
$$L_{OA} = k \cdot m_x \cdot OA$$

$$L_{OB} = k \cdot m_y \cdot OB$$

$$L_{OC} = k \cdot m_z \cdot OC$$

Преобразование плоских координат в пространственные

Точка D – в пространстве



O, A, B, C – !
 $X_D (Y_D, Z_D)$ – !

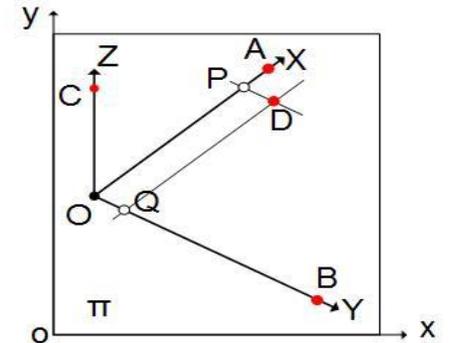


$$E = M^{-1} \cdot N$$

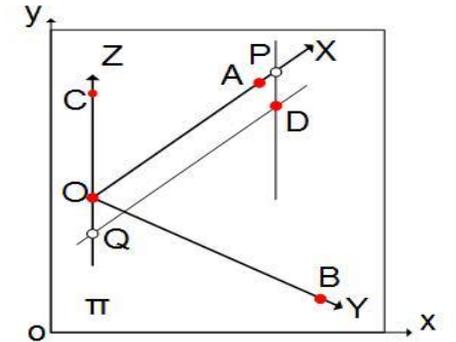
E – компоненты модели
 M, N – расчетные матрицы

Точка D – на координатных плоскостях

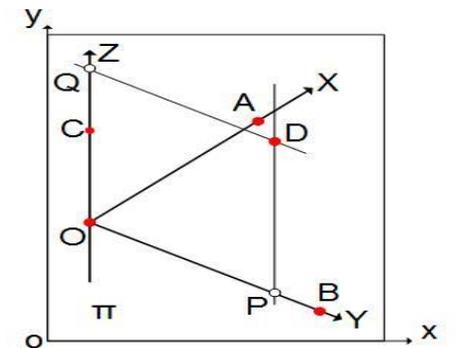
Точка D – на
плоскости OXY



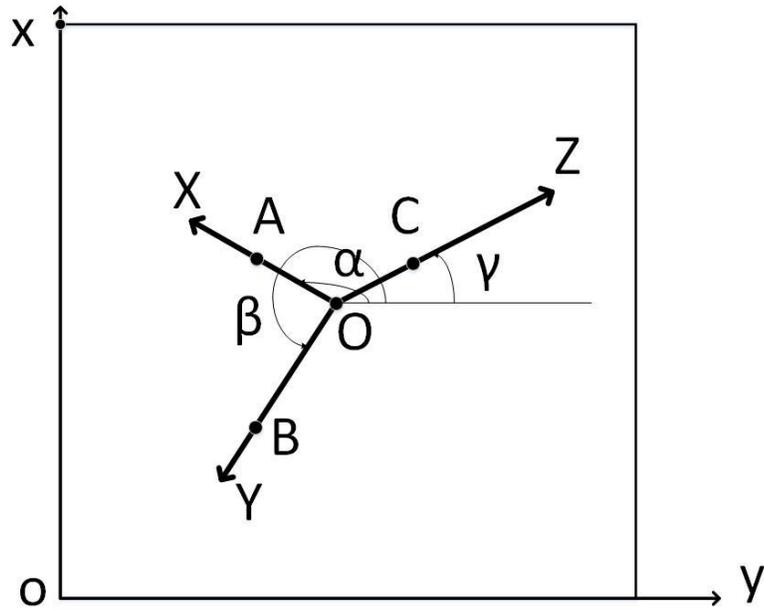
Точка D – на
плоскости OXZ



Точка D – на
плоскости OYZ



Определение пространственных координат точек объекта



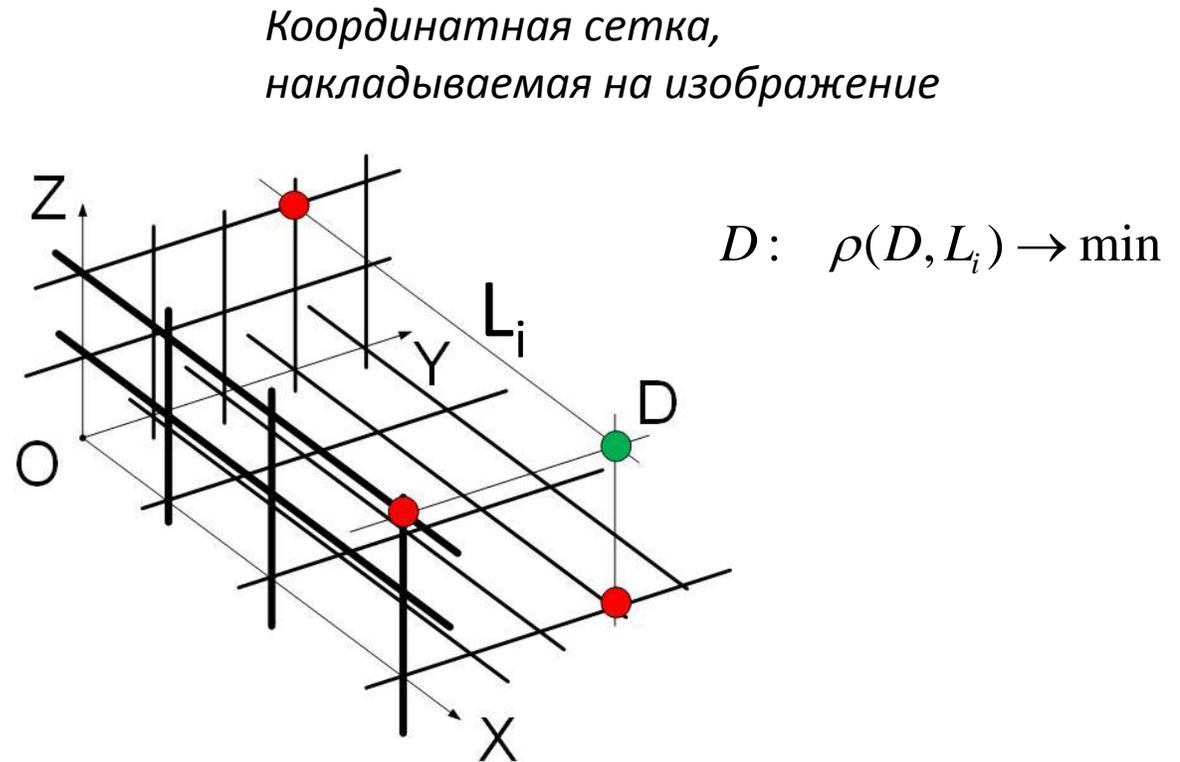
Параметры модели преобразования:

$$\xi = \{\alpha, \beta, \gamma, x_0, y_0, k\}$$

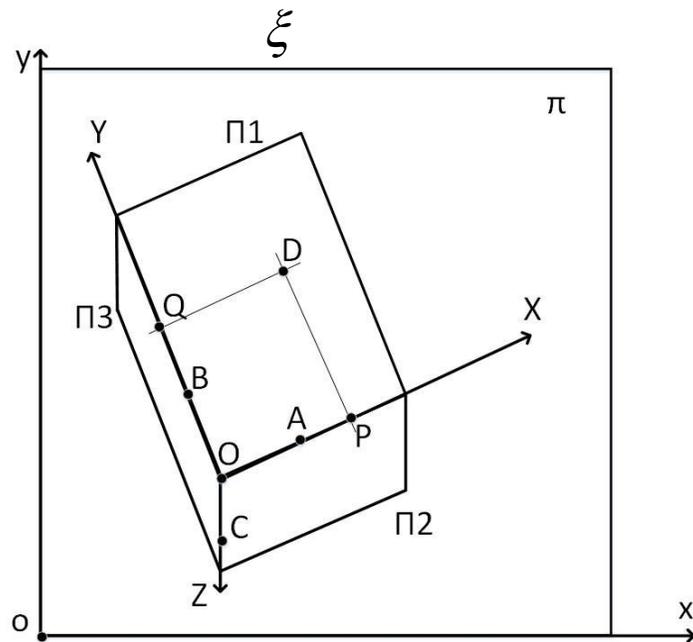
α, β, γ – направляющие углы (поворот)

x_0, y_0 – координаты точки O на изображении (смещение)

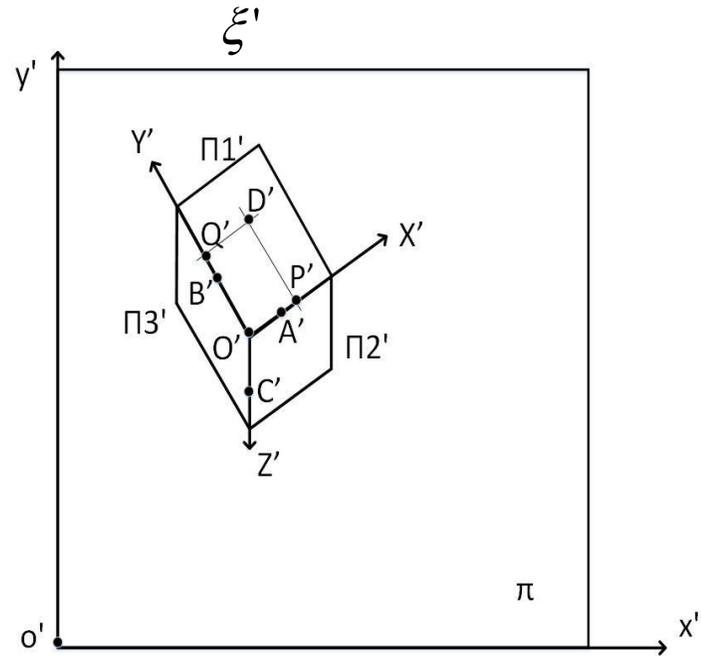
k – пространственное разрешение (масштабирование)



Преобразования изображений объекта и его 3D-модели



Исходный образ объекта



Новый образ объекта

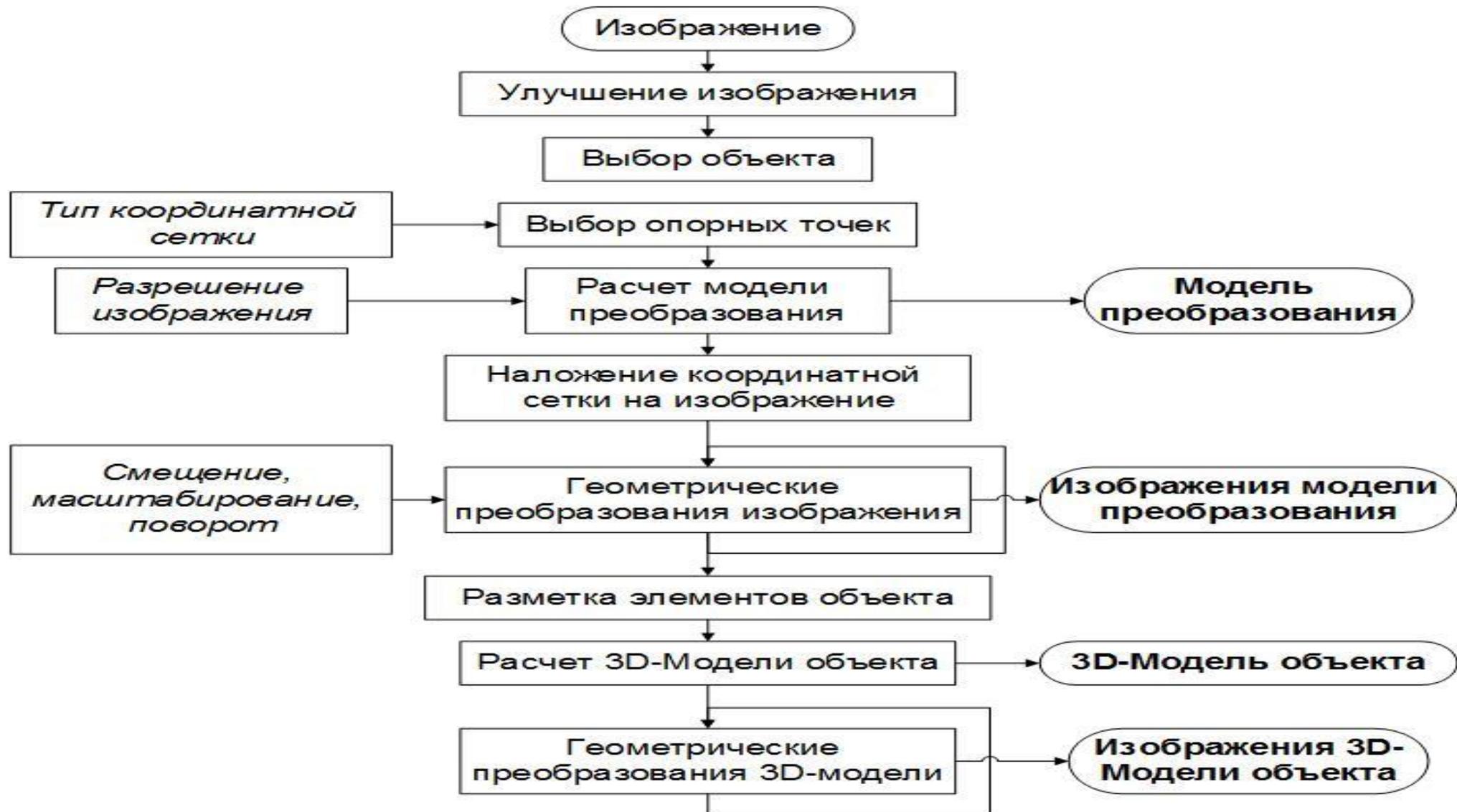
Получение координат заданного образа ξ' объекта по его трехмерным координатам:

$$(x'_D, y'_D) = G(X_D, Y_D, Z_D, \xi')$$

Яркость точки D в пространстве:

$$C(X_D, Y_D, Z_D) = C(x_D, y_D) = C(x'_D, y'_D)$$

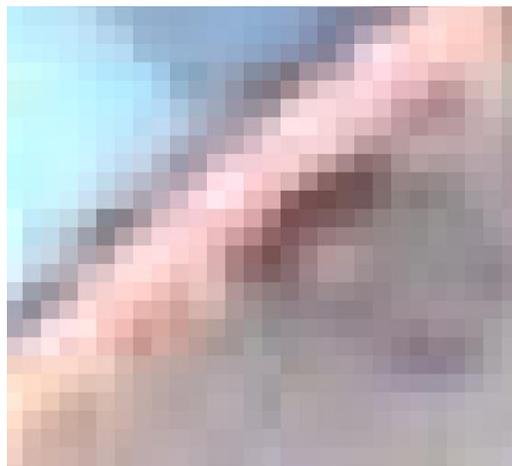
Общая блок-схема алгоритма



Алгоритм улучшения изображения



Выделение участка

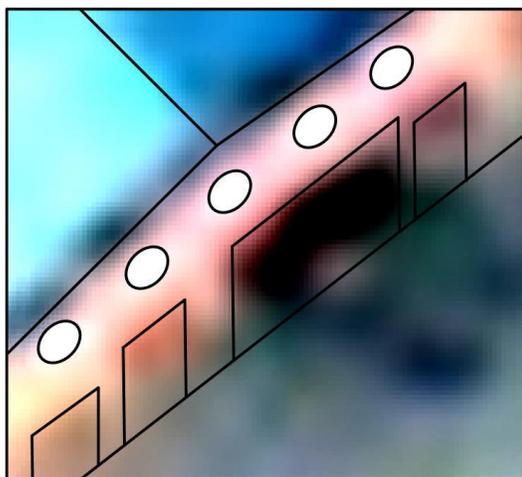


Увеличение размера

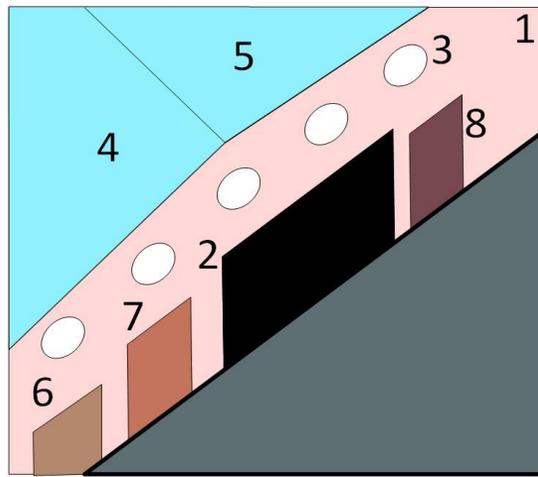


Улучшение изображения

Разметка элементов объекта

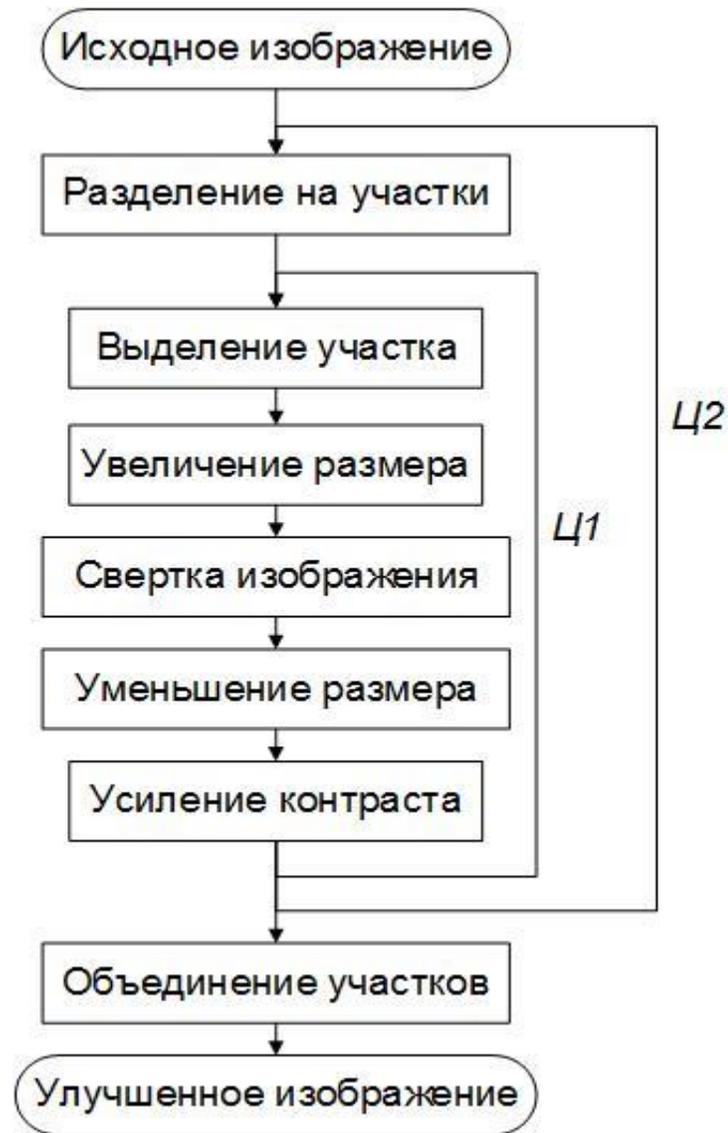


Построение контура



Раскраска контура

- 0 – объект
- Ф – фон
- 1 – несущая стена
- 2 – арка
- 3 – источники освещения
- 4-5 – крыша
- 6-8 – подъезды



Пример улучшения

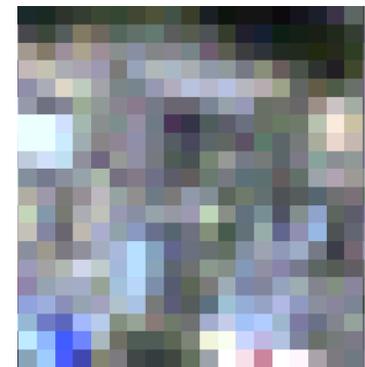
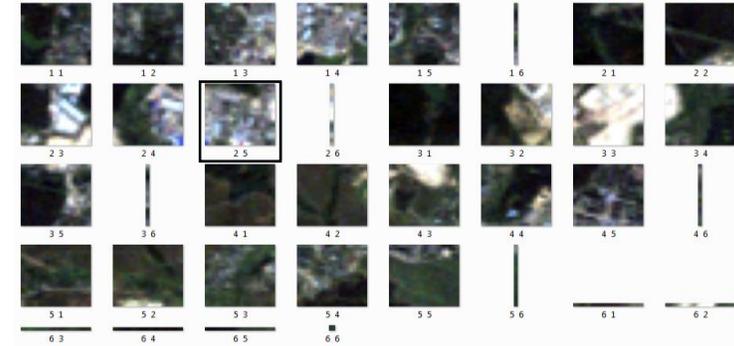
Видимое изображение
(Landsat 5 TM)



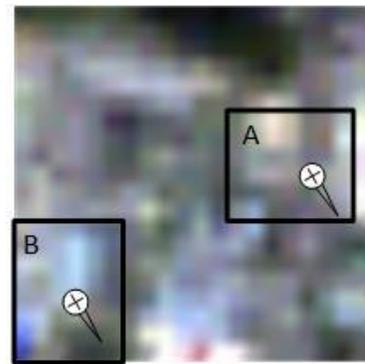
Усиление контраста



Нарезка на участки



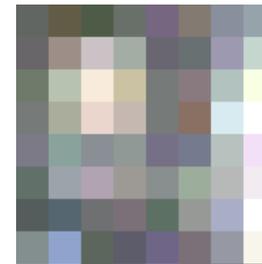
Изображение 2 5



Вырезание фрагментов



Участок



A

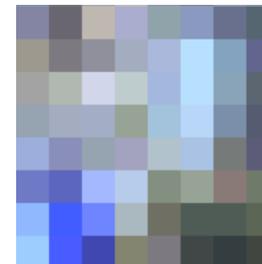
Улучшение
фрагмента



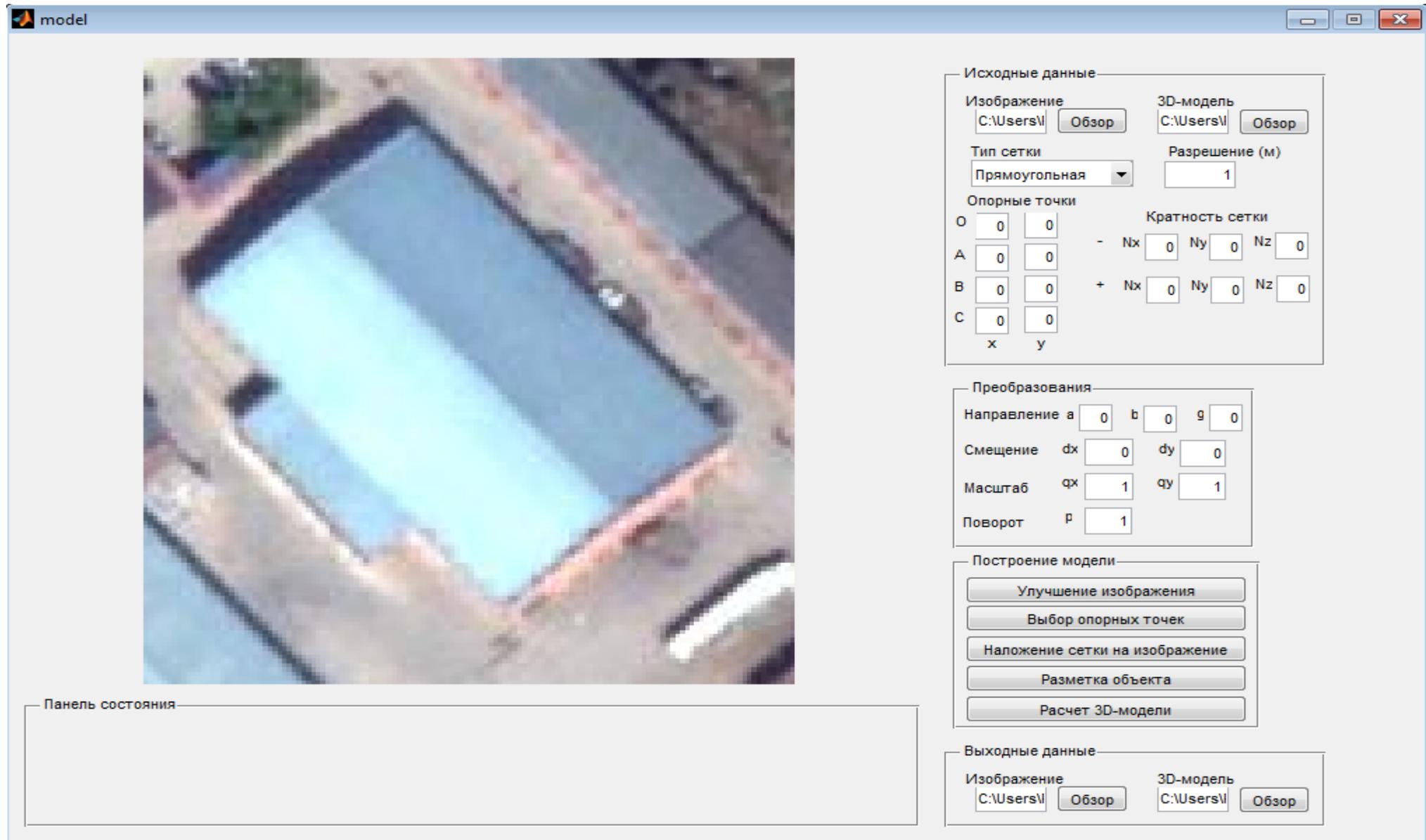
Видимое
изображение



B



Интерактивная программа построения 3D-модели



Основные этапы работы алгоритма

Окрестности полигона ТБО Кучино,
Московский регион (Google Earth)

Выделение хоззоны



Выделение объекта



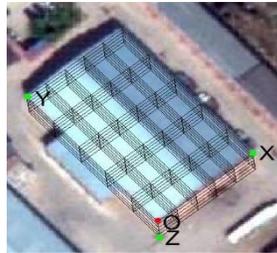
Исходное изображение



Опорные точки



Координатные оси



$$m_x = 1.0190$$

$$m_y = 1.0206$$

$$m_z = 3.6056$$

$$L_{OA} = 8.3 \text{ м}$$

$$L_{OB} = 6 \text{ м}$$

$$L_{OC} = 9.9 \text{ м}$$

Графические построения на координатной сетке

Наложение сетки на изображение

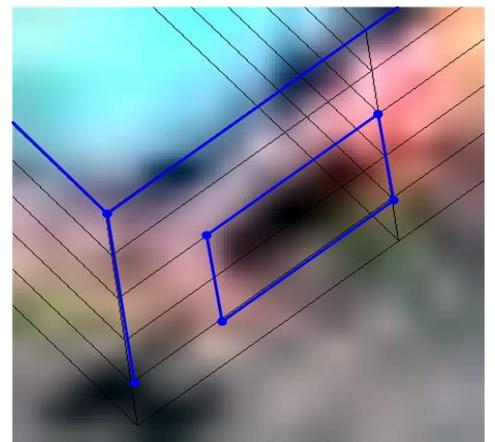
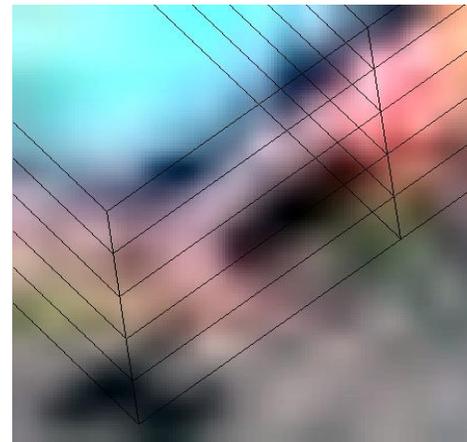


Объект (здание)

Разметка точек на сетке



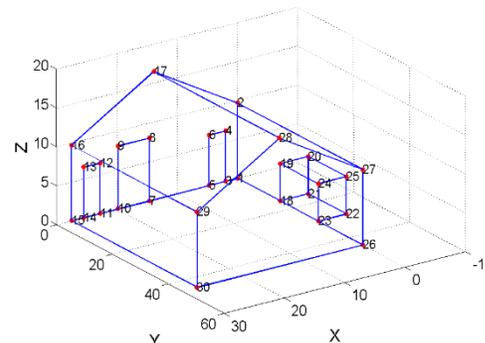
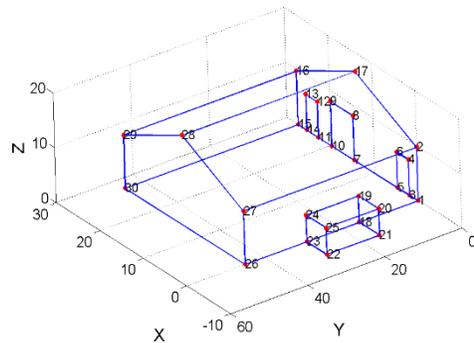
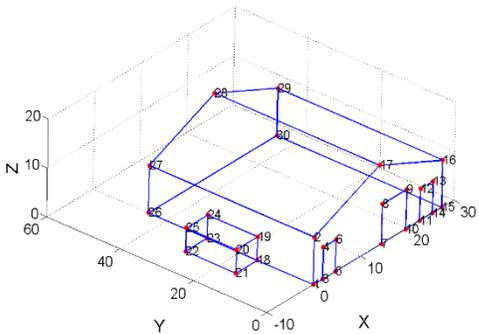
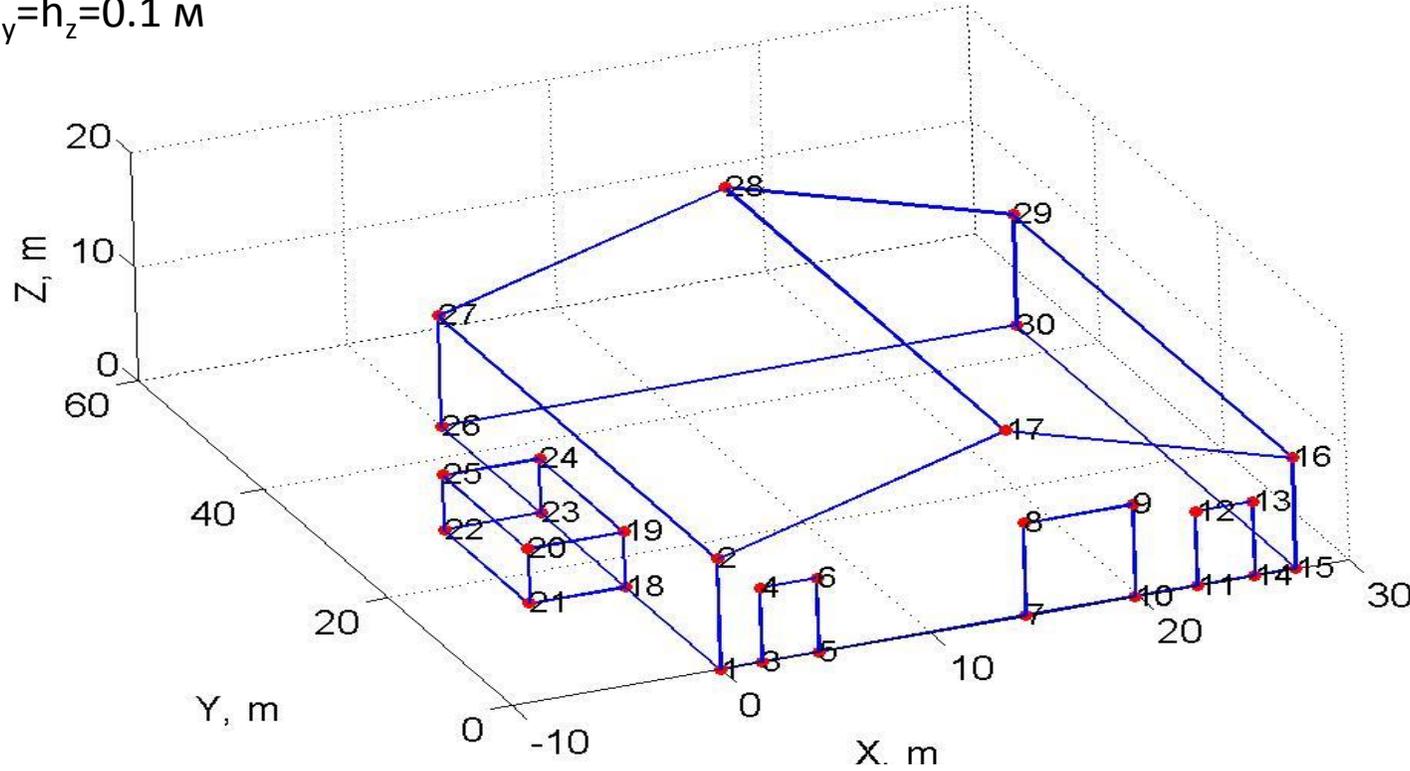
Увеличение



Пример 3D-модели объекта

Разрешение модели:

$$h_x=h_y=h_z=0.1 \text{ м}$$



K =

0	0	0
0	0	9.7000
2.0000	0	0
2.0000	0	6.5000
4.7000	0	0
4.7000	0	6.5000
14.6000	0	0
14.6000	0	8.1000
19.8000	0	8.1000
19.8000	0	0
22.8000	0	0
22.8000	0	6.5000
25.5000	0	6.5000
25.5000	0	0
27.5000	0	0
27.5000	0	9.7000
13.8500	0	16.5000
0	15.3000	0
0	15.3000	4.8000
-4.6000	15.3000	4.8000
-4.6000	15.3000	0
-4.6000	28.9000	0
0	28.9000	0
0	28.9000	4.8000
-4.6000	28.9000	4.8000
0	44.9000	0
0	44.9000	9.7000
13.8500	44.9000	16.5000
27.5000	44.9000	9.7000
27.5000	44.9000	0

L =

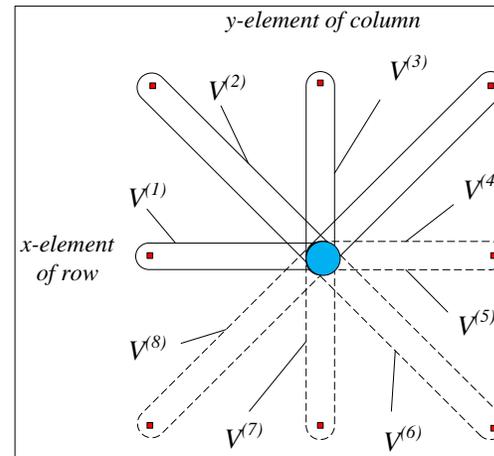
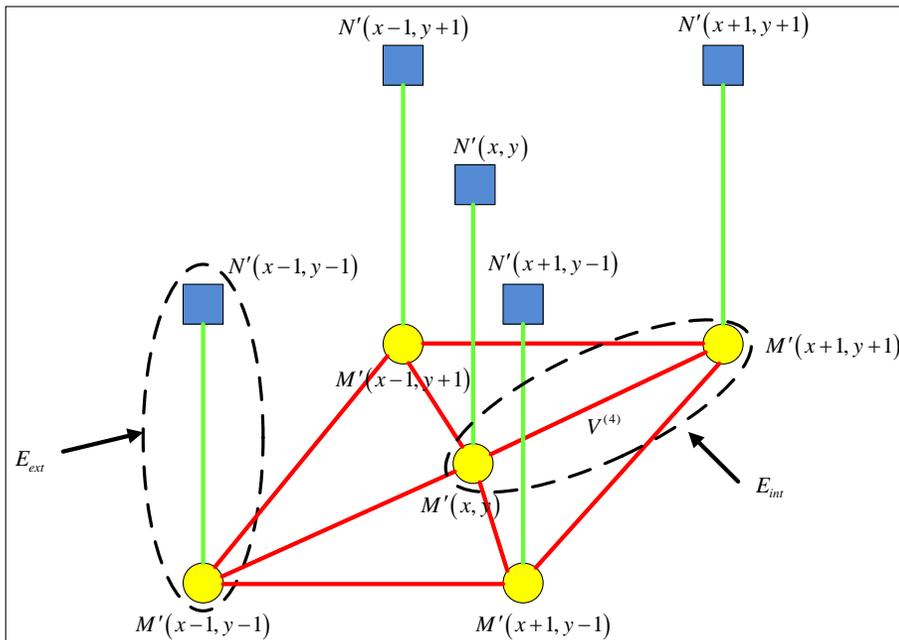
1	2
2	17
16	17
15	16
1	3
3	5
5	7
7	11
11	14
14	15
3	4
4	6
5	6
7	8
8	9
9	10
11	12
12	13
13	14
1	18
18	21
18	19
20	21
19	20
21	22
20	25
19	24
24	25
22	25
23	24
22	23
18	23
23	26
26	27
2	27
27	28
28	29
29	30
26	30
16	29
17	28
15	30

K – матрица точек

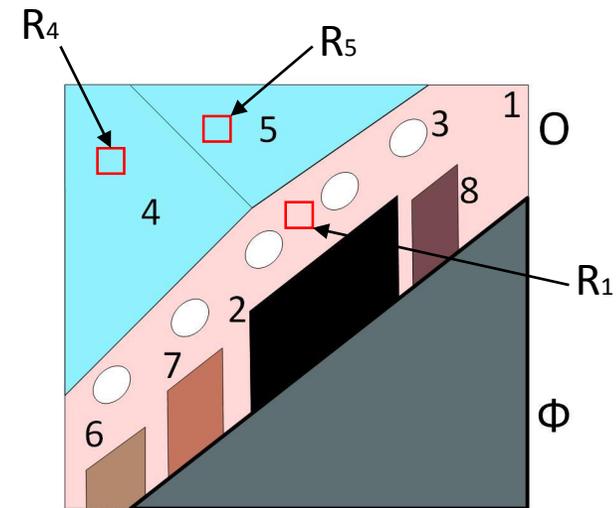
L – матрица линий

Автоматизация построения 3D-моделей

1. Использование семантической сегментации для автоматического построения системы координат на общих границах стен и крыши зданий



Система соседства пикселей



Априорная информация классов:

$$R_1 \subset 1, R_4 \subset 4, R_5 \subset 5$$

Сегментация скрытой компоненты марковского поля на основе Байесовского принципа:

$$M^* = \arg \max_M P(M | N) \Leftrightarrow \arg \min_M (E_{int} + E_{ext})$$

M^* - карта оптимальной сегментации

M - карта сегментации

N - поле яркости изображения

Применимость методики

Область применения:

1. Построение 3D-моделей объектов, труднодоступных для контактных и дистанционных наблюдений;
2. Оперативность и «точечность» метода, что позволяет его применить в военных целях и в области гражданской обороны и чрезвычайных ситуаций;
3. Работа с ограниченными данными (нет необходимости в наличии другой информации, кроме самого изображения);
4. Работа с изображениями при наличии в них различных дефектов (браков, пустот и др.) или частичного скрывтия объекта.

Достоинства:

1. Минимальное количество исходных данных (достаточно одного изображений и нет необходимости в метаданных);
2. Универсальность изображений (в качестве изображений берутся не только космические или аэрофотоснимки, но и фотографии, картинки и др., на которых будут различимы компоненты здания);
3. Простота использования (для построения 3D-модели достаточно разметить координатную сетку на объекте и выделить на ней характерные точки и линии).

Границы применимости:

1. Возможность ошибок построения 3D-модели, которые зависят от точности разметки точек и линий;
2. Строить 3D-модель можно только для объектов «правильной» формы, для которых можно подобрать координатную сетку (прямоугольную, пирамидальную, конусоидальную и др.);
3. Оценка 3D-модели ограничена пространственным разрешением изображения
4. Для того чтобы увидеть всю поверхность объекта, необходимо не менее 2 его изображений, снятых с противоположных ракурсов.

Выводы

1. Предлагаемый метод позволяет построить 3D-модель «точечных» объектов по минимальным исходным данным: по одному изображению этого объекта (в частности, с использованием бесплатных снимков высокого разрешения покрытия Земли в программе Google Earth). Метод является сравнительно дешевым и быстрым по сравнению с другими методами;
2. Метод может быть применен для анализа местности, малодоступной для полевых исследований, в частности, территорий полигонов твердых бытовых отходов в РФ;
3. Алгоритм построения 3D-моделей объектов по одному изображению может быть автоматизирован введением процедуры сегментации и распознавания характерных элементов объектов, в частности, зданий и сооружений.