

Выбор метода векторной морфологической обработки двумерных и трёхмерных растровых данных

Рихтер А.А.

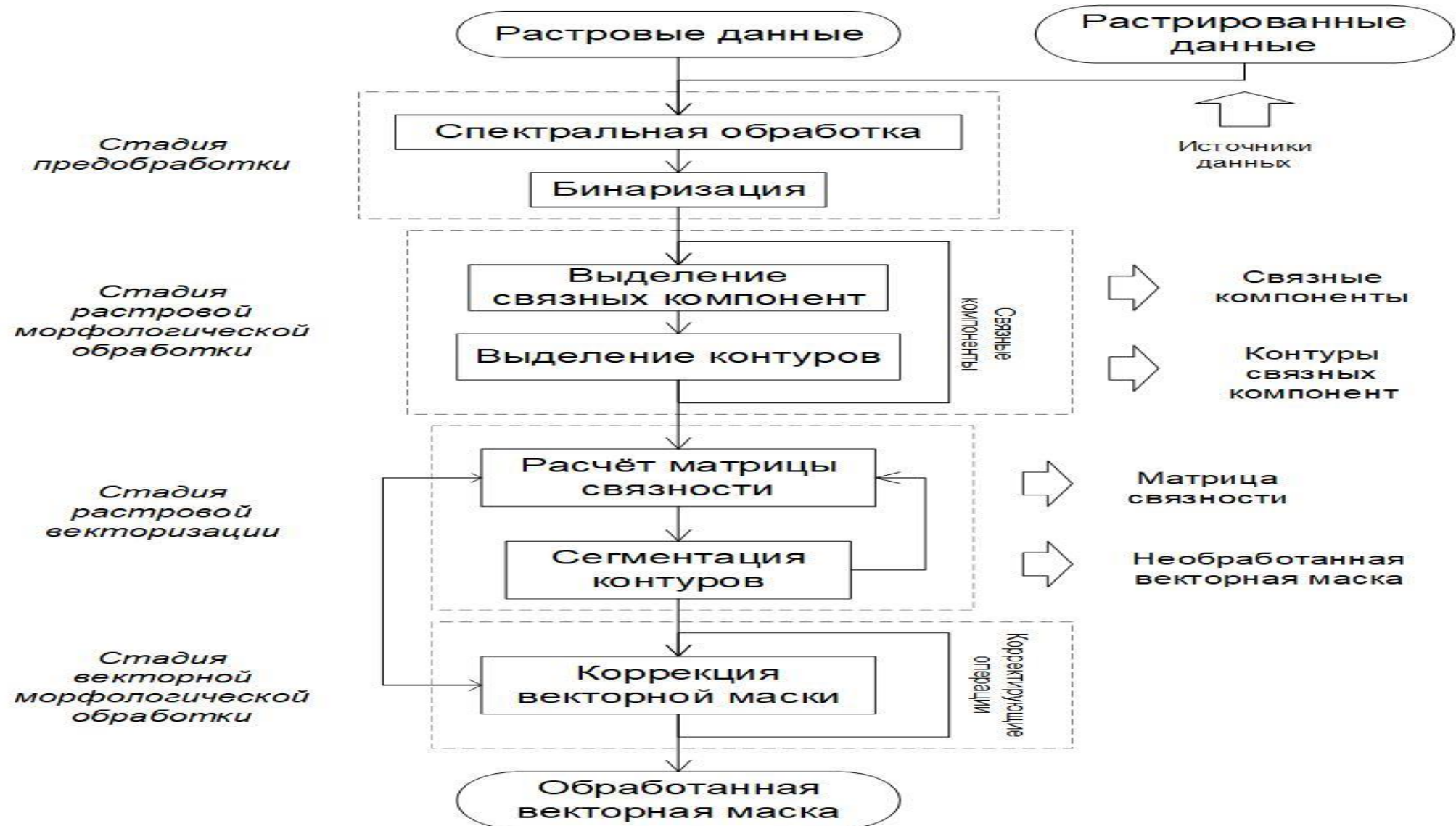
Научно-исследовательский институт аэрокосмического мониторинга
"АЭРОКОСМОС", г. Москва

urfin17@yandex.ru

Постановка задачи

- При векторной обработке растровых и растрированных данных (полученных, например, из облаков точек) различается спектральная, статистическая и морфологическая (структурно-лингвистическая) обработка. Спектральная обработка состоит в приведении изображения в кондиционное состояние, приемлемое для извлечения из него релевантных векторных информативных признаков. Статистическая обработка предполагает выявление характерных участков и извлечение признаков «цельно» (по статистическим распределениям на этих участках), с применением различных детекторов и дескрипторов. В основе морфологической обработки лежит анализ связности точек, она позволяет проникнуть в «существо» векторизуемого объекта, увидеть его строение, форму, топологию, геометрические особенности.
- Предлагается метод, объединяющий обработку двумерных и трёхмерных растровых и векторизованных данных (полученных из растров) на базе морфологических операций.

Общая предлагаемая схема морфологической обработки двухмерных и трёхмерных растровых данных



Связность растровых точек

	p' $(x, y+1)$	
p' $(x-1, y)$	p (x, y)	p' $(x+1, y)$
	p' $(x, y-1)$	

4-связность

p' $(x-1, y+1)$	p' $(x, y+1)$	p' $(x+1, y+1)$
p' $(x-1, y)$	p (x, y)	p' $(x+1, y)$
p' $(x-1, y-1)$	p' $(x, y-1)$	p' $(x+1, y-1)$

8-связность

Связность двумерных растровых точек (пикселей)

	p' $(x, y, z-1)$	

	p' $(x, y+1, z)$	
p' $(x-1, y, z)$	p (x, y, z)	p' $(x+1, y, z)$
	p' $(x, y-1, z)$	

6-связность

	p' (x, y)	

	p' $(x, y+1, z-1)$	
p' $(x-1, y, z-1)$	p' $(x, y, z-1)$	p' $(x+1, y, z-1)$
	p' $(x, y-1, z-1)$	

	p' $(x, y+1, z)$	
p' $(x-1, y, z)$	p (x, y, z)	p' $(x+1, y, z)$
	p' $(x, y-1, z)$	

18-связность

	p' $(x, y+1, z+1)$	
p' $(x-1, y, z+1)$	p' (x, y)	p' $(x+1, y, z+1)$
	p' $(x, y-1, z+1)$	

p' $(x-1, y+1, z-1)$	p' $(x, y+1, z-1)$	p' $(x+1, y+1, z-1)$
p' $(x-1, y, z-1)$	p' $(x, y, z-1)$	p' $(x+1, y, z-1)$
p' $(x-1, y-1, z-1)$	p' $(x, y-1, z-1)$	p' $(x+1, y-1, z-1)$

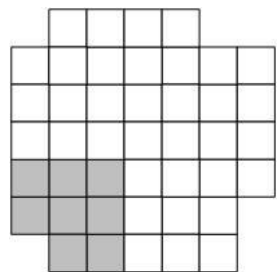
p' $(x-1, y+1, z)$	p' $(x, y+1, z)$	p' $(x+1, y+1, z)$
p' $(x-1, y, z)$	p (x, y, z)	p' $(x+1, y, z)$
p' $(x-1, y-1, z)$	p' $(x, y-1, z)$	p' $(x+1, y-1, z)$

26-связность

p' $(x-1, y+1, z+1)$	p' $(x, y+1, z+1)$	p' $(x+1, y+1, z+1)$
p' $(x-1, y, z+1)$	p' (x, y)	p' $(x+1, y, z+1)$
p' $(x-1, y-1, z+1)$	p' $(x, y-1, z+1)$	p' $(x+1, y-1, z+1)$

Связность трёхмерных растровых точек (вокселей)

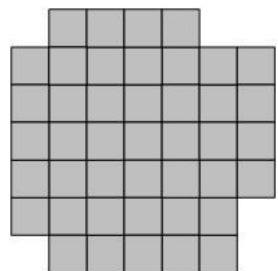
Связные компоненты и их дыры



Объект:

$$u' = \{p_i\}_{i=1}^{m'}, p_i \in \mathcal{I}$$

$$\forall p_i \in u \quad \exists p_j \in u: p_i \diamond p_j$$



Связная компонента:

$$u = \{p_i\}_{i=1}^m, p_i \in \mathcal{I}$$

$$\forall p_i \in u \quad \exists p_j \in u: p_i \diamond p_j$$

$$\forall p_i \notin u \quad \nexists p_j \in u: p_i \diamond p_j$$

p_* – растровые точки

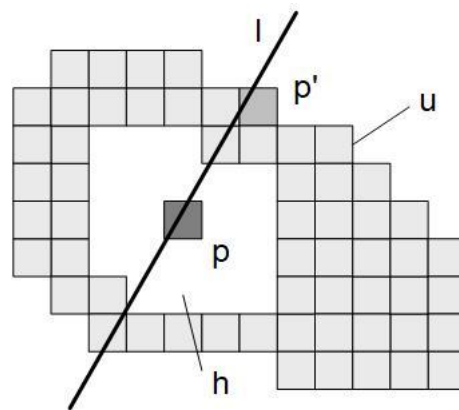
$m' = |u'|$ – число элементов объекта u'

$m = |u|$ – число элементов связной компоненты u

$p_i \diamond p_j$ – связность точек p_i и p_j

$\mathcal{I}$ – информативная часть растра

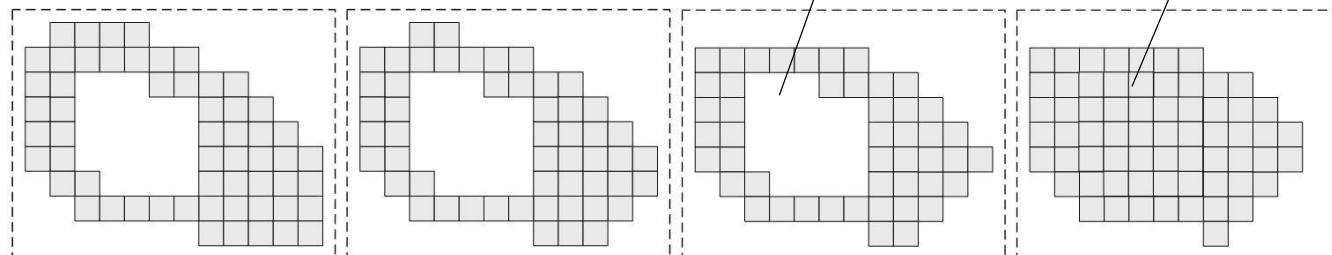
Φ – фоновая часть растра



Двухмерная связная компонента



Проекции



Трёхмерная связная компонента

Дыра связной компоненты:

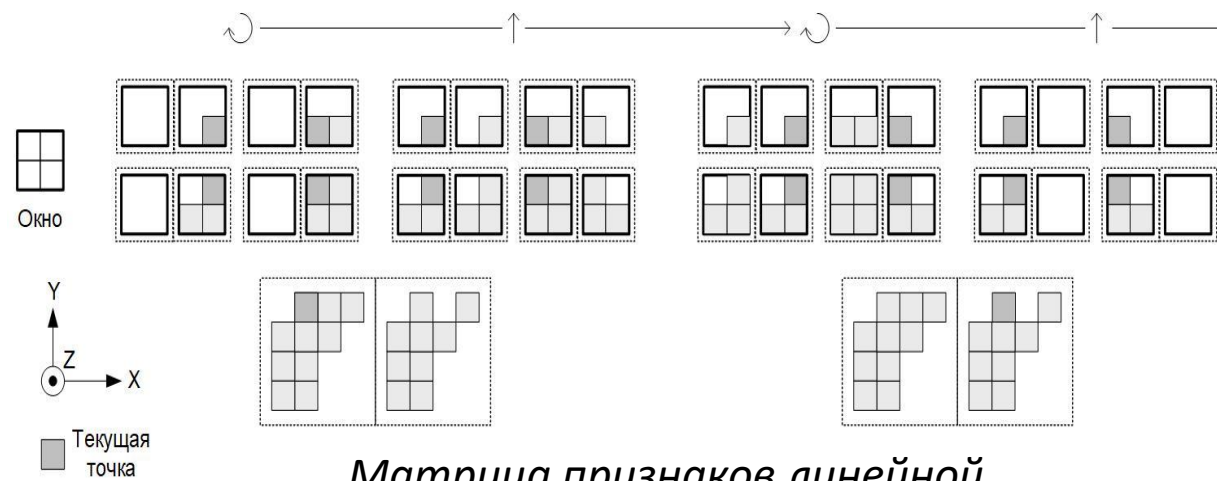
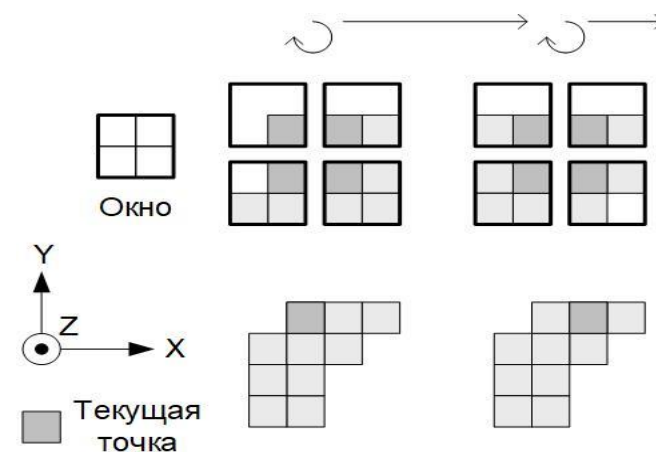
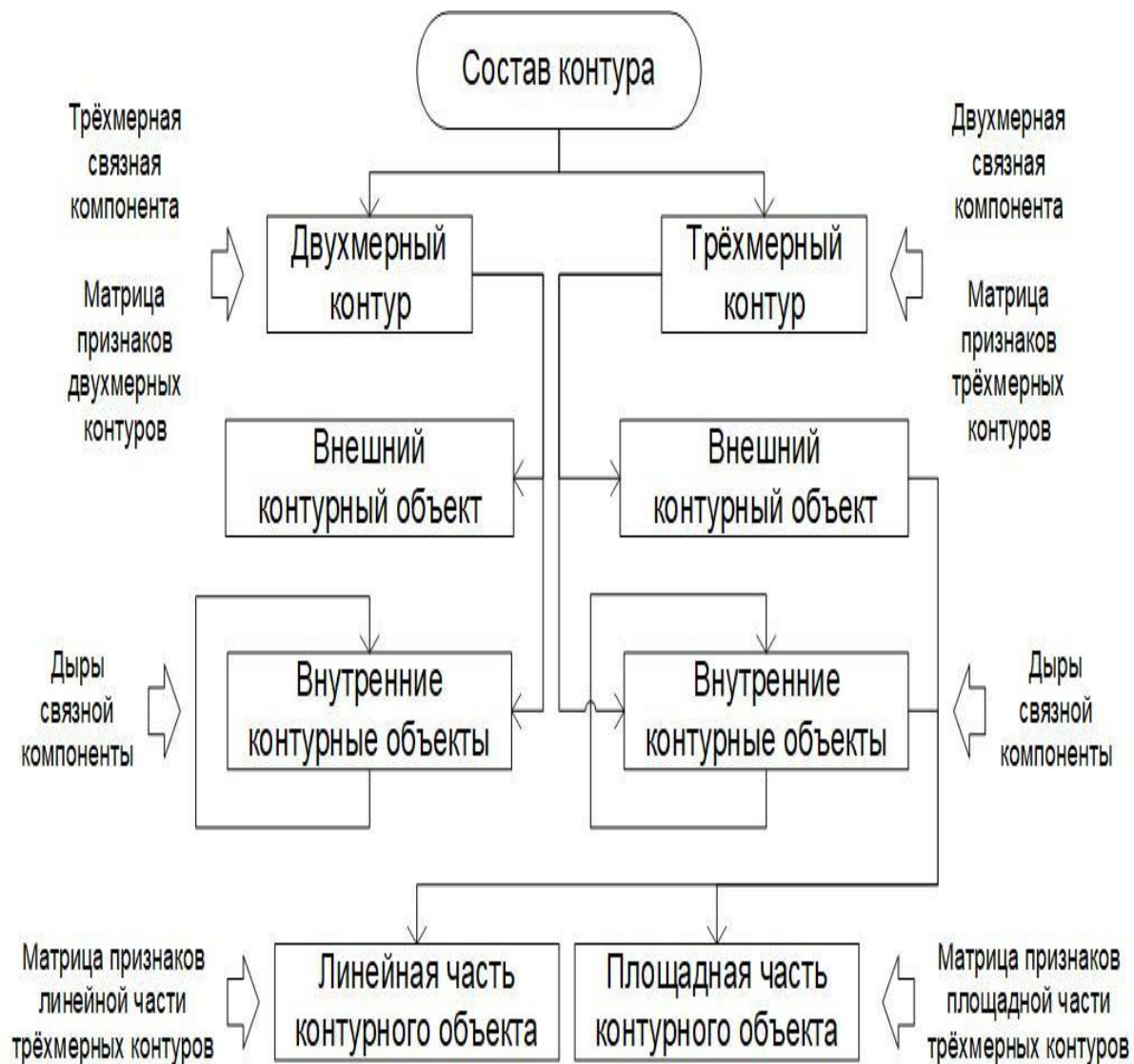
$$h = \{p_i\}_{i=1}^{m'}, p_i \in \Phi$$

$$\forall p_i \in u \quad \exists p_j \in h: p_i \diamond p_j$$

$$\forall p_i \notin u \quad \nexists p_j \in h: p_i \diamond p_j$$

$$\forall l, p: l \ni p \in h \quad \exists p' \in u: l \ni p'$$

Контуры связанных компонент

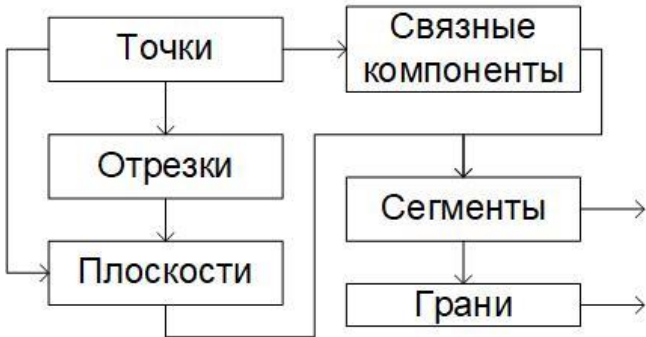


Состав матрицы связности

№	Вход	Выход	Выражение
Точки			
1	П1.1	П1.3	По индексу точки – значение точки
2	П1.3	П1	По значению точки – индекс точки
3	П1.1	{П1.1}	По индекс точки – множество индексов связанных точек
4		П1.2	Количество точек
Отрезки			
5	П2.1	{П2.1}	По индексу отрезка – множество индексов связанных отрезков
6	П2.1	П2.3	По индексу отрезка – значение отрезка
7		П2.2	Количество отрезков
8	П2.1, П2.1	Да/Нет	По индексам двух отрезков – связаны ли отрезки
9	П2.1, П2.1	Да/Нет	По индексам двух отрезков – лежат ли отрезки на одной линии
Плоскости			
10	П3.1	П3.3	По индексу плоскости – значение плоскости
11	П3.1	{П3.1}	По индексу плоскости – множество индексов связанных плоскостей
12	П3.3	{П3.3}	По индексу плоскости – множество индексов плоскостей, равных этой плоскости
13		П3.2	Количество плоскостей
Точки и отрезки			
14	П1.1, П1.1	П2.1	По индексам двух точек – индекс отрезка
15	П2.1	{П1.1,П1.1}	По индексу отрезка – множество двух индексов точек
Точки и плоскости			
16	П3.1	{П1.1,П1.1,П1.1}	По индексу плоскости – множество трёх индексов точек
17	П3.1	{П1.1}	По индексу плоскости – множество индексов точек, принадлежащих этой плоскости
Отрезки и плоскости			
18	П2.1, П2.1	П3.1	По индексам двух отрезков – индекс плоскости
19	П3.1	{П2.1, П2.1}	По индексу плоскости – множество двух индексов составляющих её отрезков
20	П3.1	{П2.1}	По индексу плоскости – множество индексов отрезков, принадлежащих этой плоскости
21	П2.1	{П3.1}	По индексу отрезка – множество индексов плоскостей, включающих его
22	П2.1, П2.1	Да/Нет	По индексам двух отрезков – лежат ли они в одной плоскости

	Компонент	Обозначение			Значение компонента
		Индекс	Количество	Значение	
1	Точка	П1.1	П1.2	П1.3	Координаты точки
2	Отрезок	П2.1	П2.2	П2.3	Нормированные коэффициенты уравнения прямой
3	Плоскость	П3.1	П3.2	П3.3	Нормированные коэффициенты уравнения плоскости
4	Связная компонента	П4.1	П4.2	П4.3	Множество индексов точек
5	Сегмент	П5.1	П5.2	П5.3	Список индексов точек
6	Грань	П6.1	П6.2	П6.3	Список индексов точек
	...				

Обозначения параметров



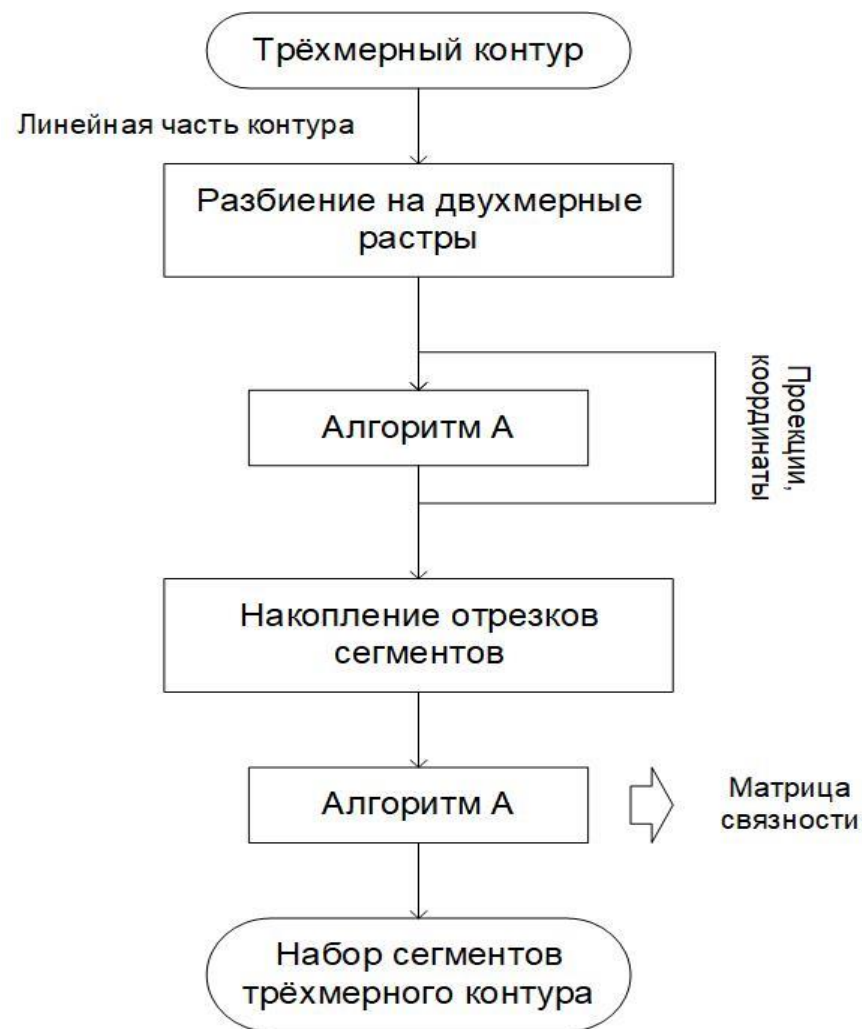
Порядок расчёта связности компонент

Примеры связи параметров в матрице

Алгоритм сегментации контуров двумерных и трёхмерных растров

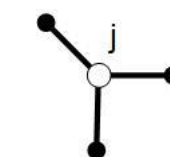


Алгоритм сегментации
двухмерного контура



Алгоритм сегментации
трёхмерного контура

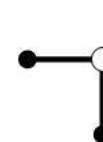
Наборы
ключевых точек:



1. Узловые
точки:
 $k > 2$



2. Концевые
точки:
 $k = 1$



3. Поворотные
точки:
 $k = 2$

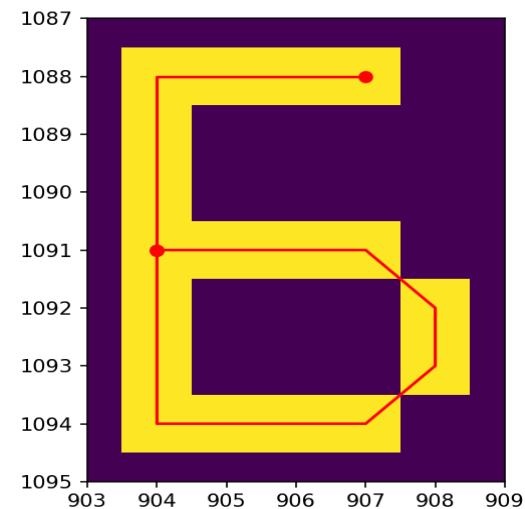
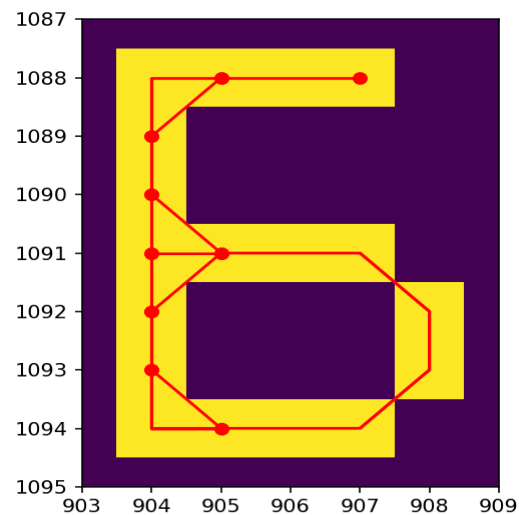
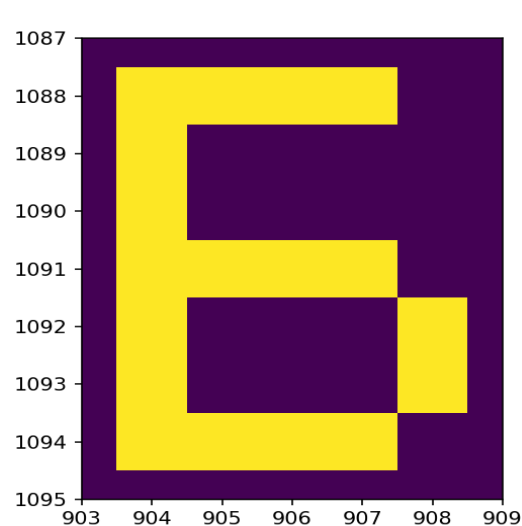


4. Одиночные
точки:
 $k = 0$

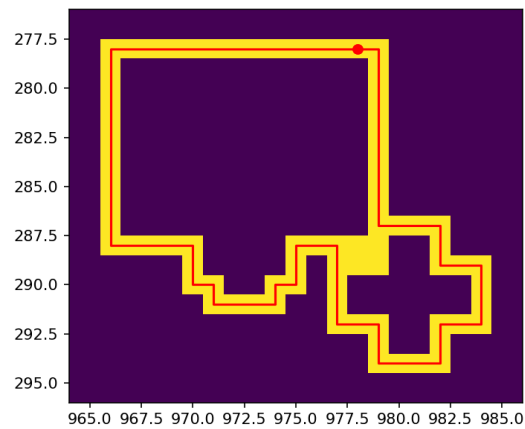
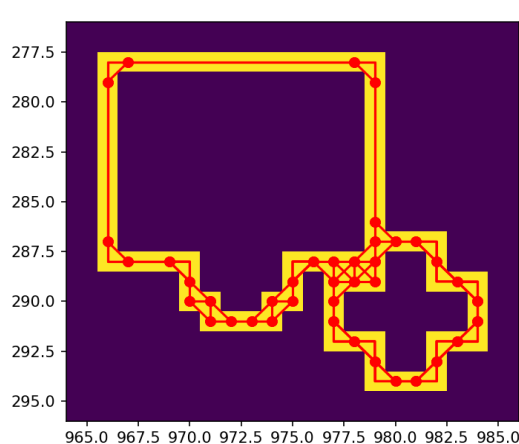
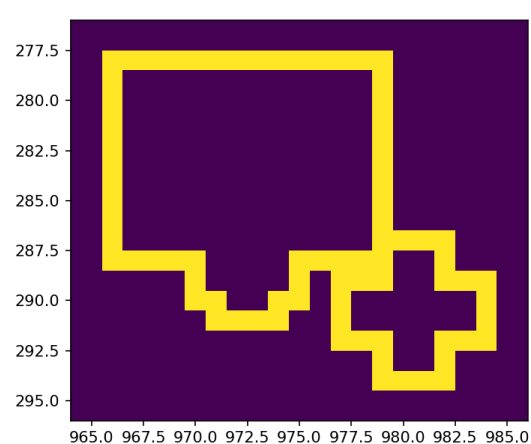
k – количество точек,
связных с точкой j

Примеры сегментации двумерного контура

Пример 1



Пример 2

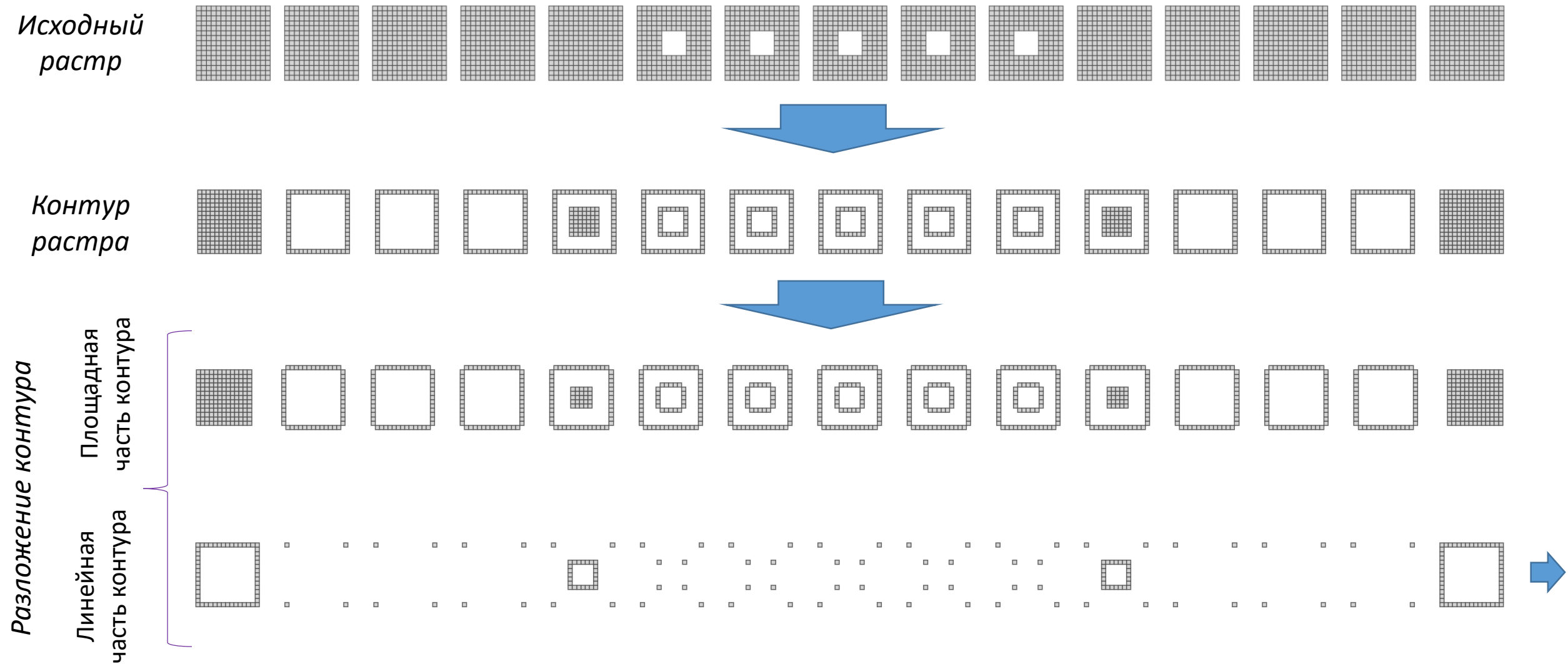


Исходные растры

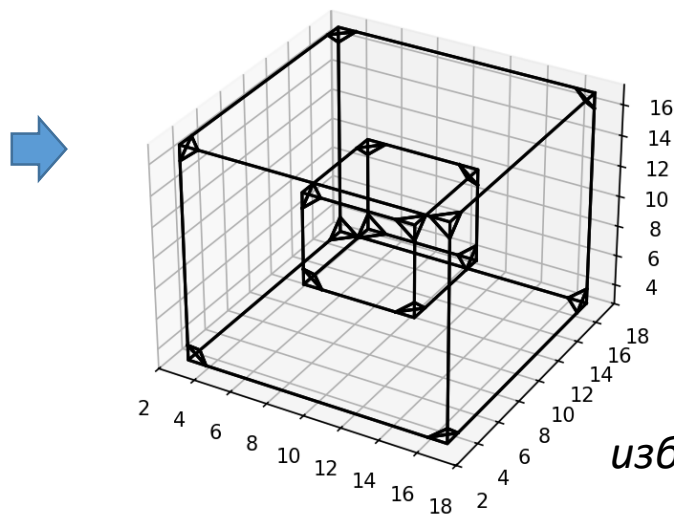
Образование
избыточных связей

Удаление
избыточных связей

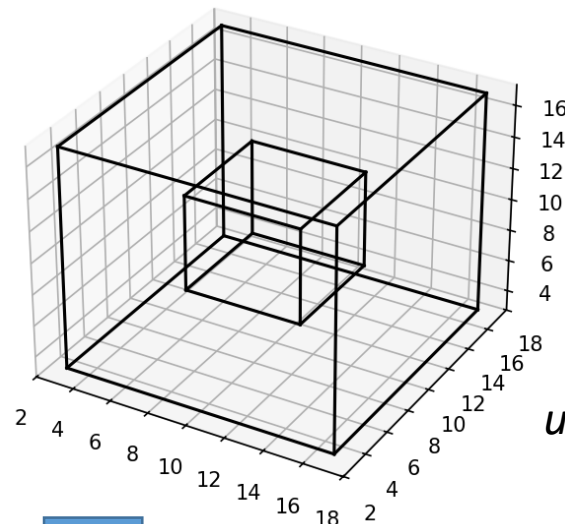
Пример расчёта контура трёхмерного растра



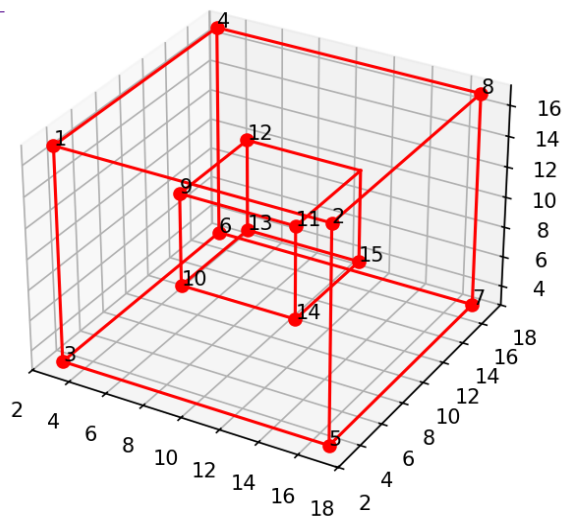
Пример сегментации трёхмерного контура



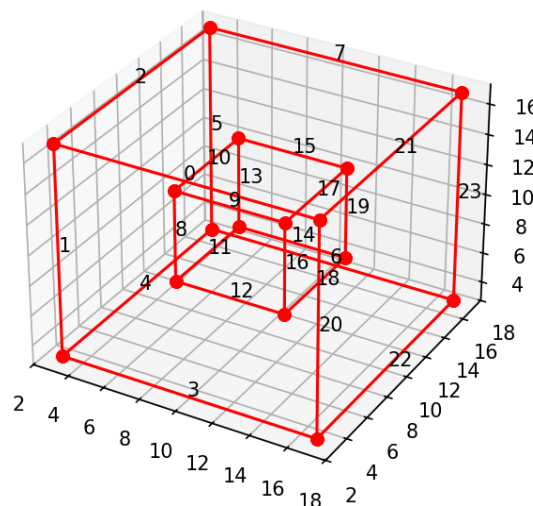
Образование
избыточных связей



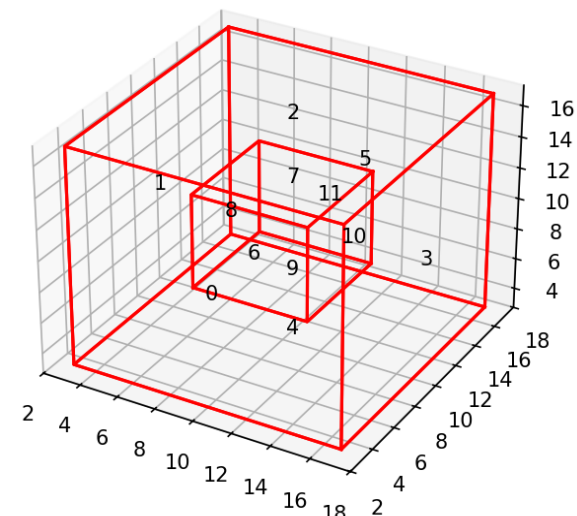
Удаление
избыточных связей



Индексация точек

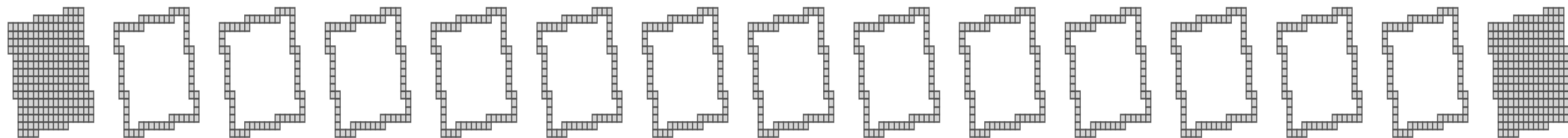


Индексация сегментов



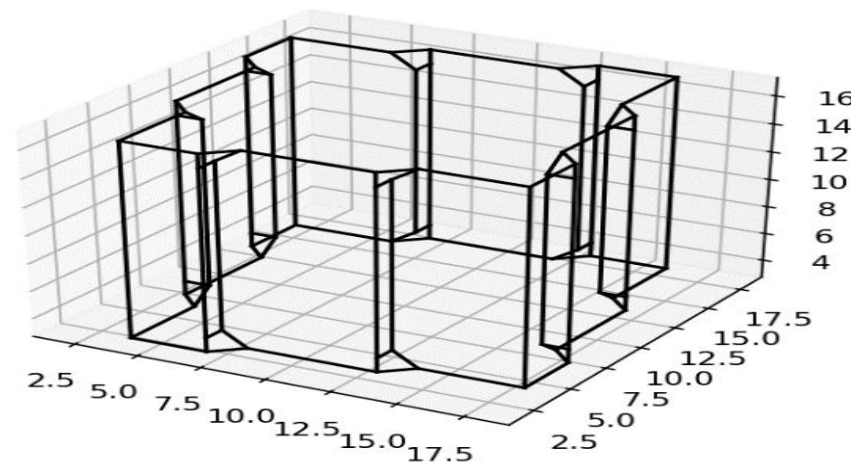
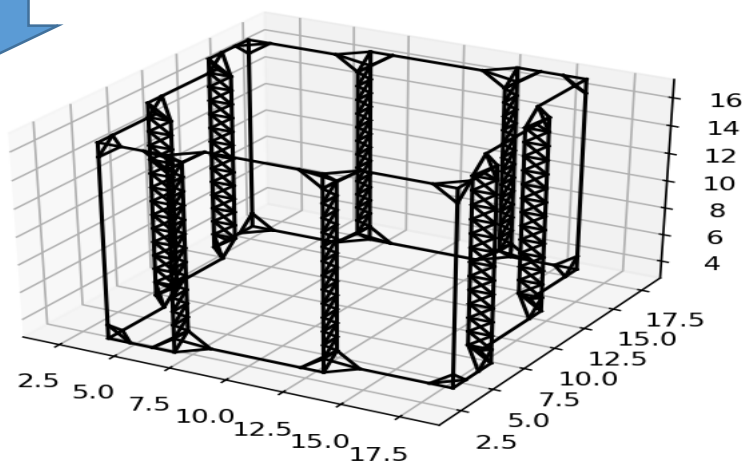
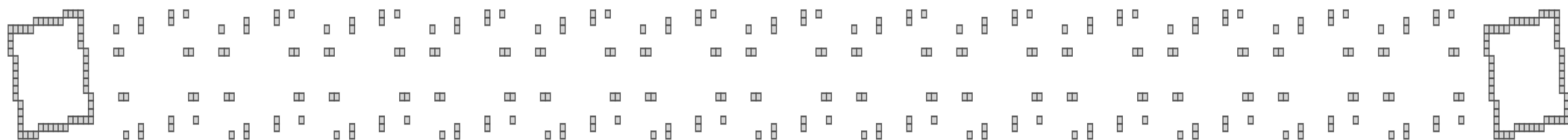
Индексация граней

Примеры сегментации контура при повороте растра в пространстве



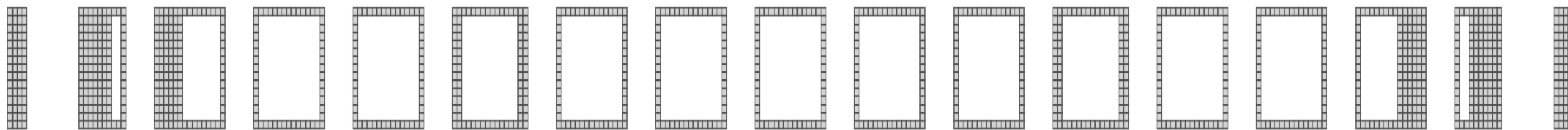
Исходный растр

Линейная часть контура



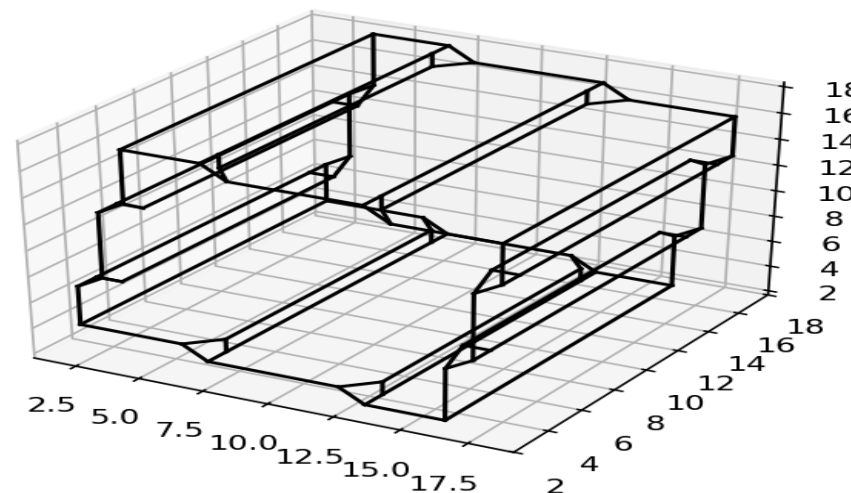
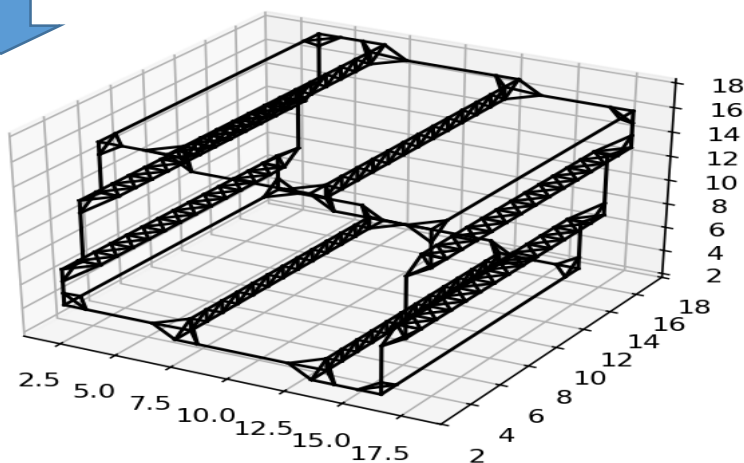
Поворот вокруг оси X на 10°

Примеры сегментации контура при повороте растра в пространстве



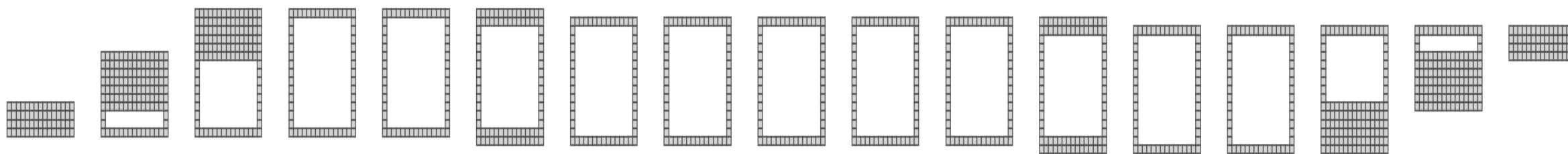
Исходный растр

Линейная часть контура



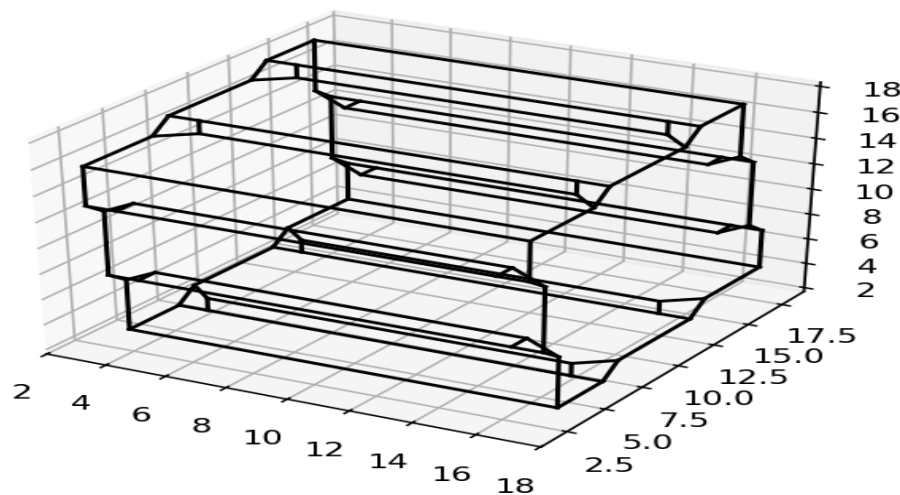
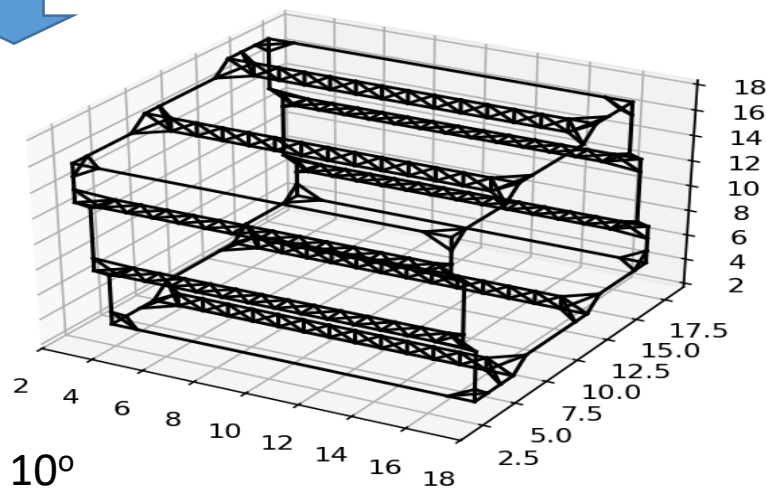
Поворот вокруг оси Y на 10°

Примеры сегментации контура при повороте растра в пространстве



Исходный растр

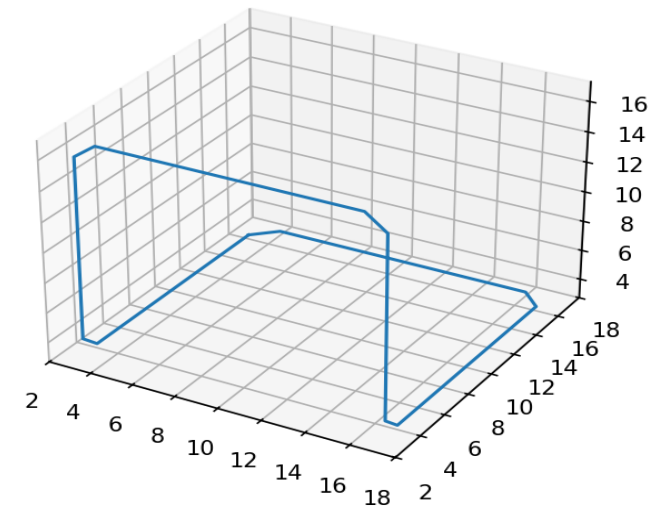
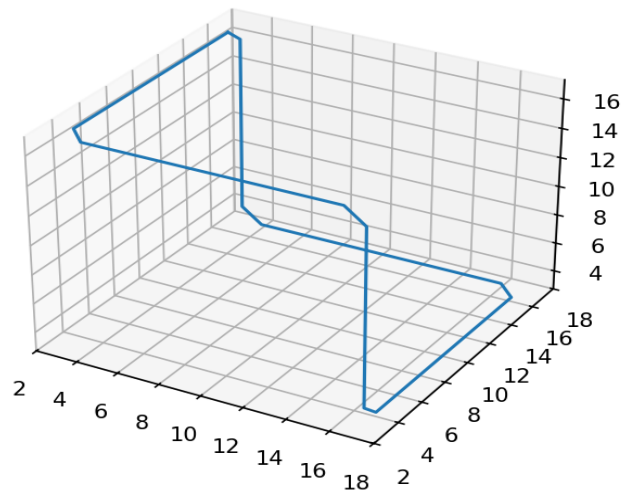
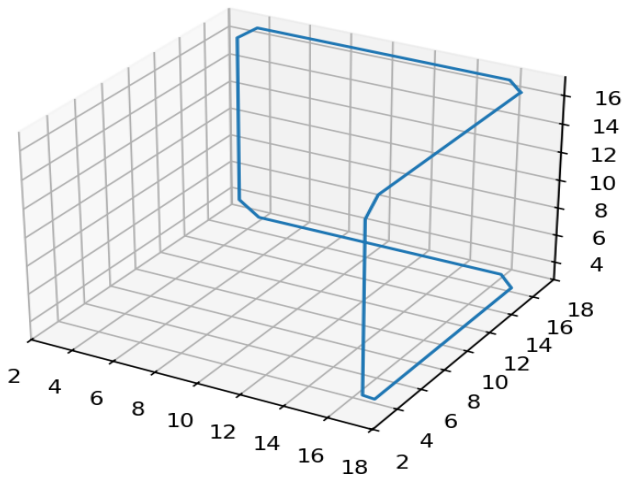
Линейная часть контура



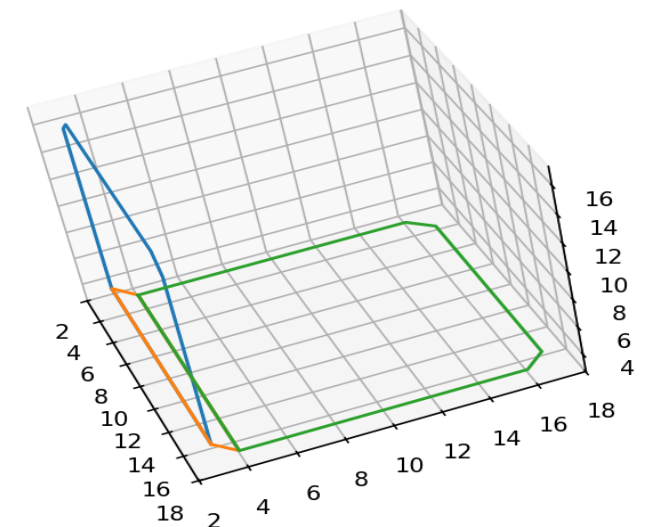
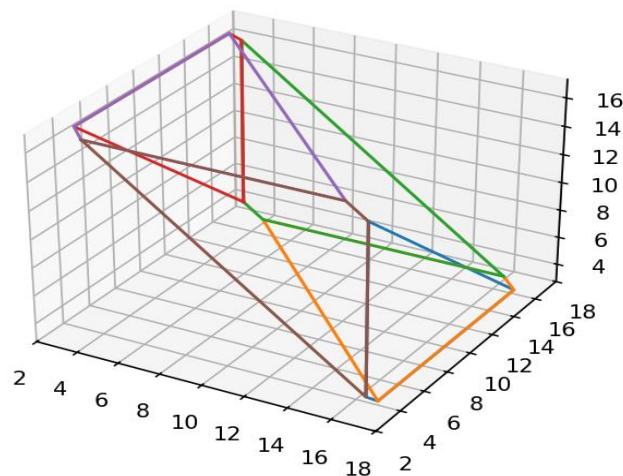
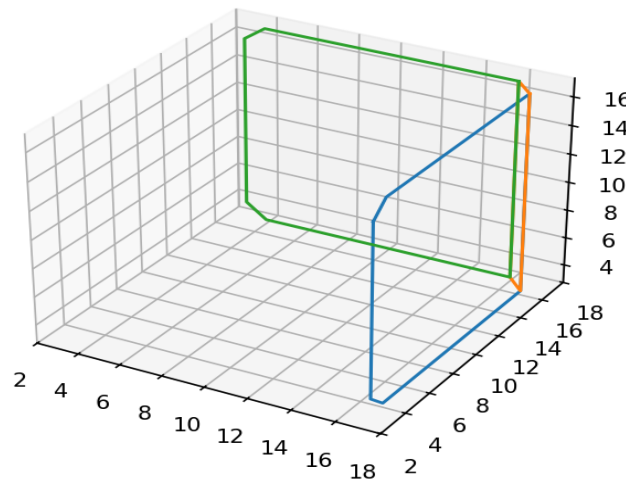
Поворот вокруг оси Z на 10°

Операции над объёмными полигонами

Объёмные полигоны



Плоские полигоны



Пример операции – разложение объёмного полигона на плоские полигоны

Выводы

1. Предложен метод, объединяющий обработку двумерных и трёхмерных растровых данных на базе морфологических операций. Операции, разработанные ранее для двумерных растров и основанные на анализе связности (точек, отрезков, циклов и др.), обобщаются на трёхмерные растры.
2. Определена общая схема морфологической обработки, включающая три стадии:
 - растровая морфологическая обработка (расчёт контуров, разложение связной компоненты на внешний и внутренние контуры, выделение линейных и площадных составляющих);
 - векторизация (трассировка) с сегментацией контуров, при которой сегменты рассчитываются непосредственно по контурам, а не по линиям их прослеживания;
 - векторная морфологическая обработка (дешифрирование и коррекция на образованной векторной маске, включая выпрямление сегментов, удаление шумовых компонент и операции над полигонами).
3. Показана наглядность предложенного подхода: результаты работы различных морфологических операций продемонстрированы на примерах простых растровых масок, что подтверждает практическую применимость метода для анализа связности, структуры и топологии объектов.
4. Перспективность метода заключается в возможности его применения к данным, полученным из облаков точек, и к задачам, требующим совместного анализа двумерных и трёхмерных растровых и векторных представлений.