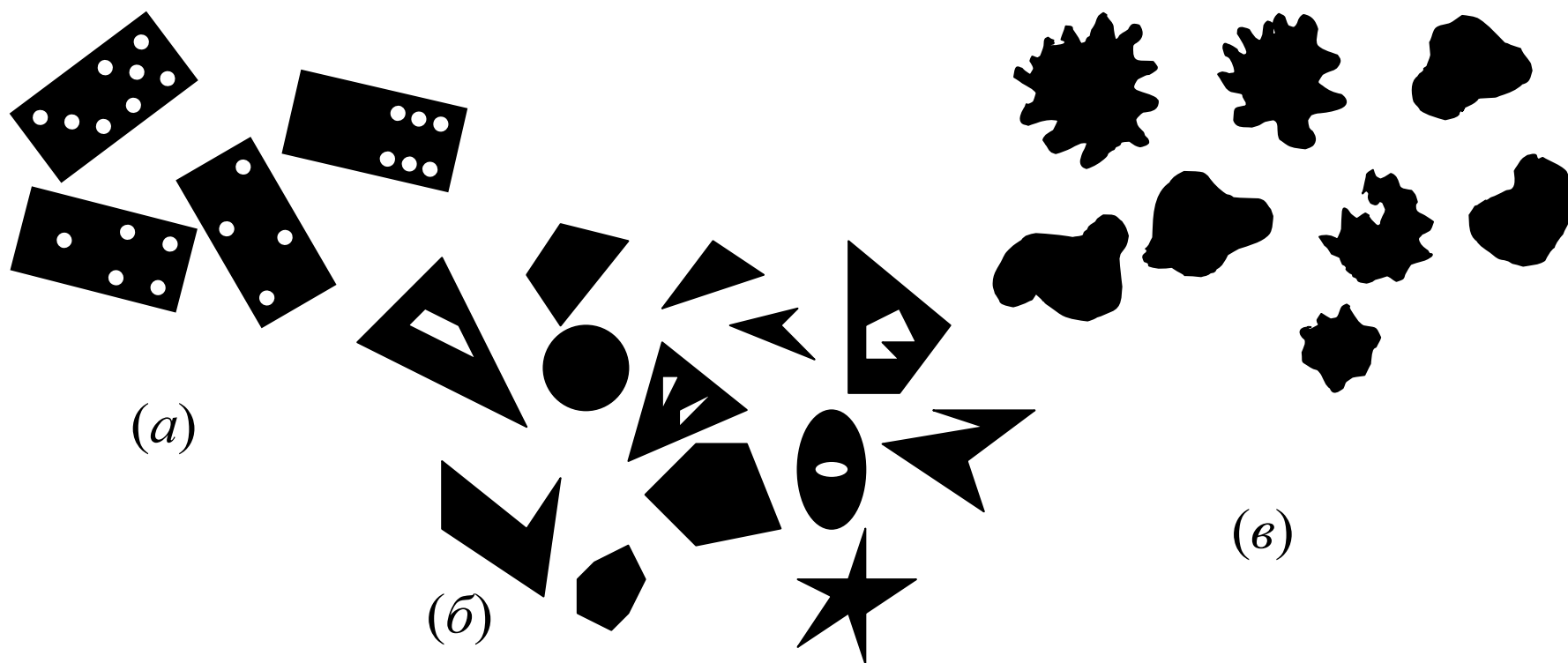


Генерация признаков формы на основе скелетов

- Исходное описание образа в виде бинарного изображения
- Построение скелета образа
- Построение признакового описания на основе анализа скелета

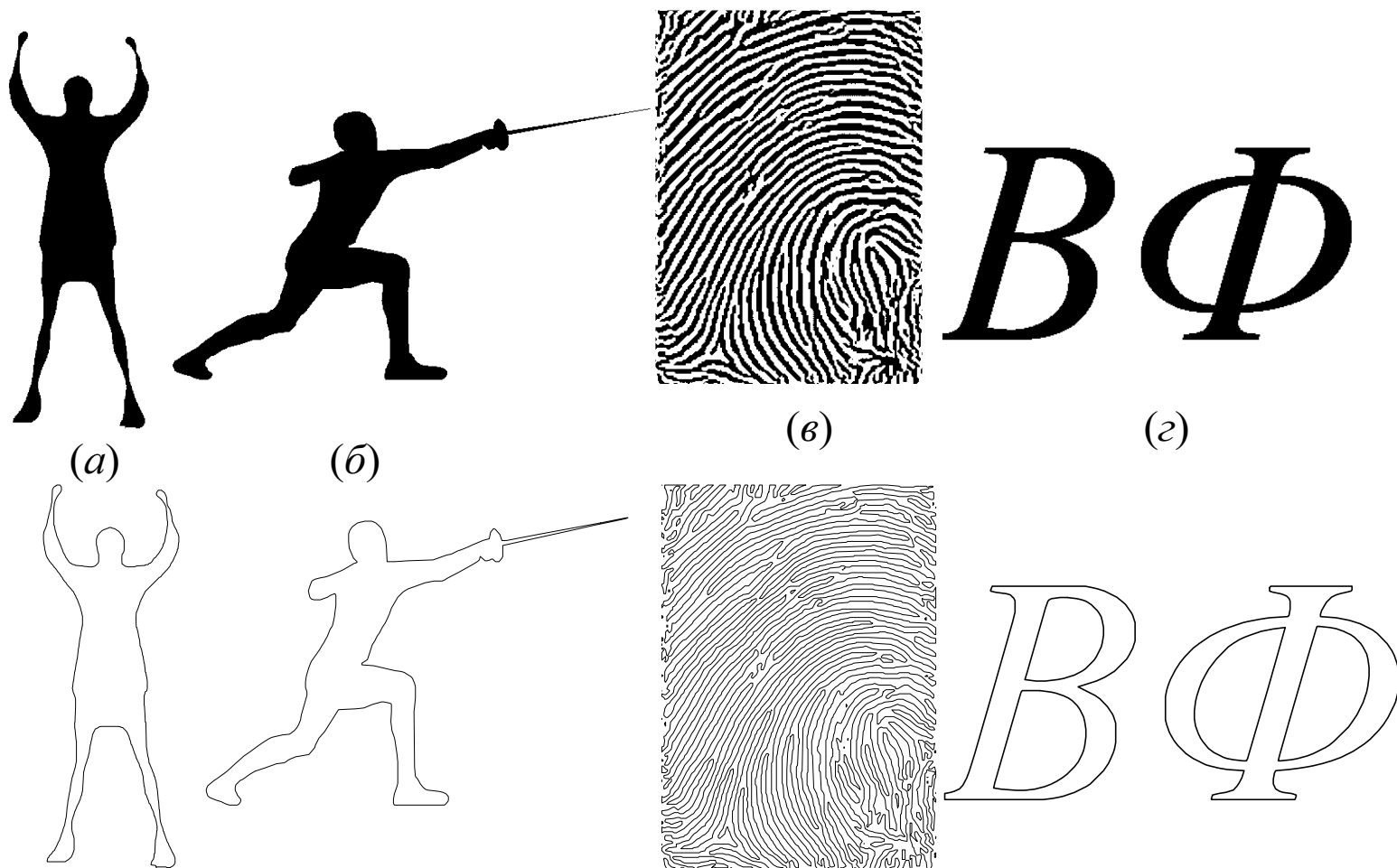
Классификация формы по границе



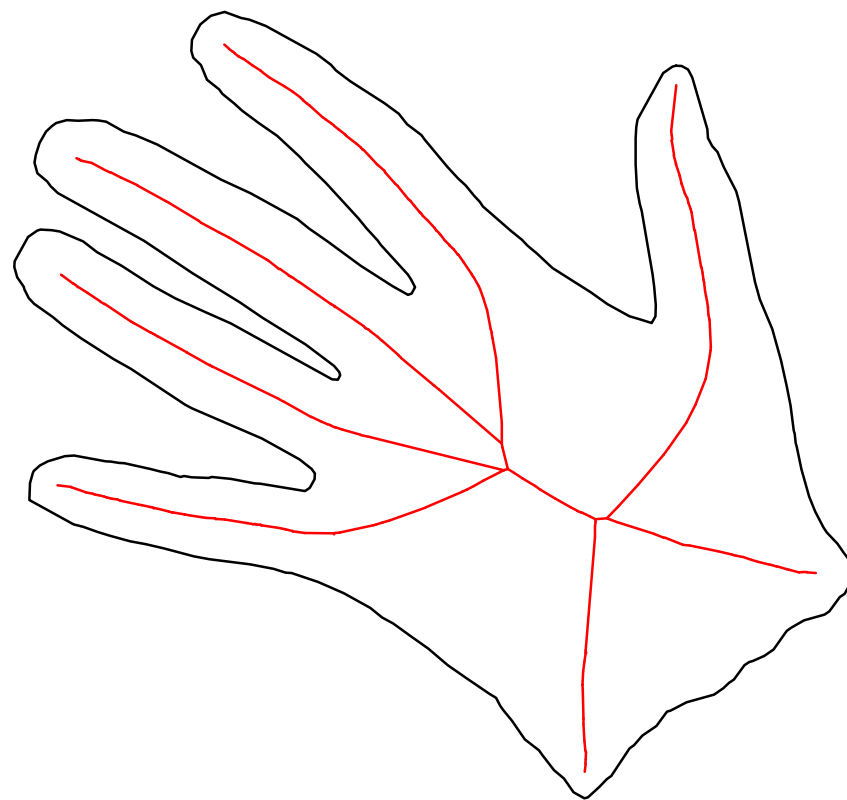
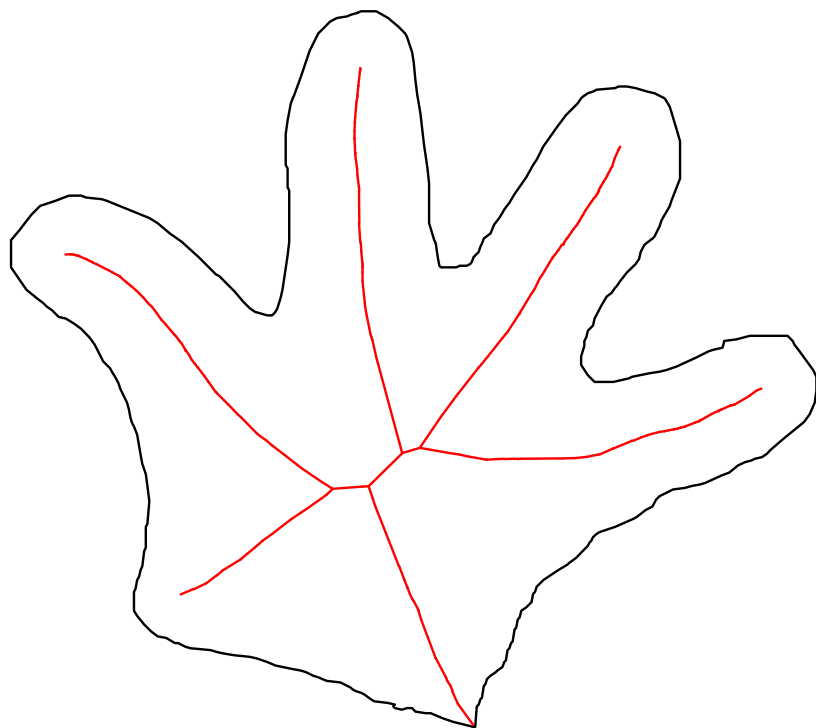
Классификация фигур по границе:

- по размерам и числу граничных контуров,
- по локальным характеристикам кривизны и гладкости границы,
- по соотношению между периметром и площадью фигур

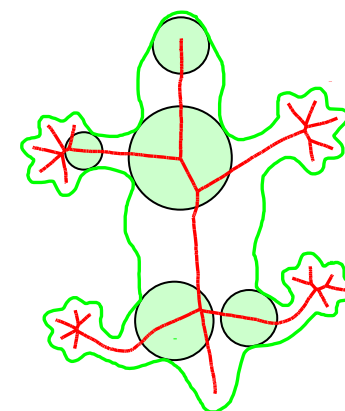
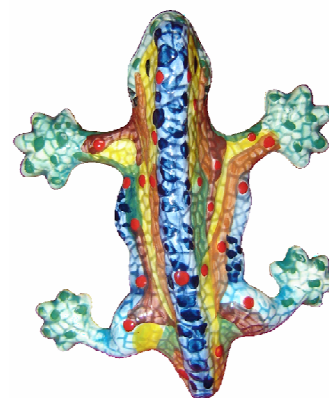
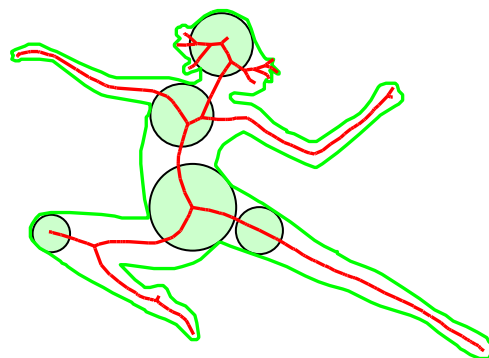
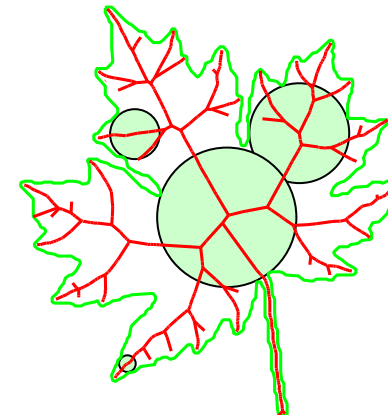
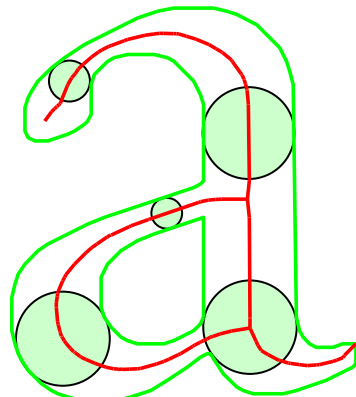
Недостаточность границы



Серединные оси фигуры



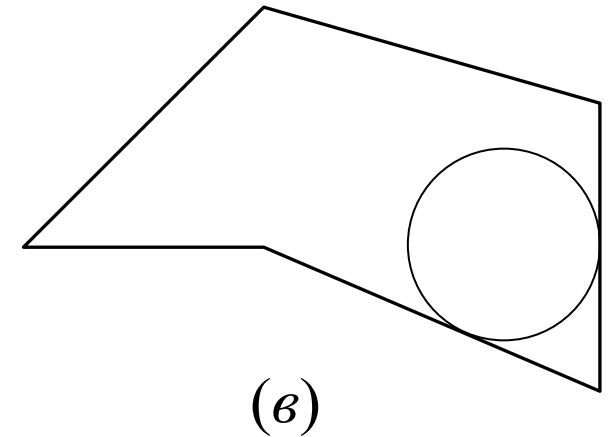
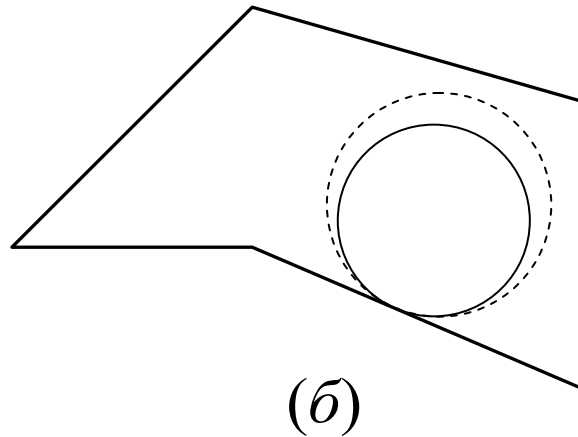
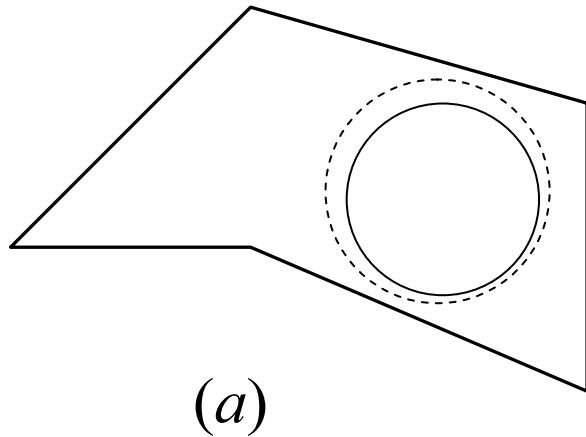
Скелет – множество серединных осей



Пустой круг фигуры

Пустым кругом фигуры A называется замкнутое множество точек

$$\tilde{S}_r(p) = \{q : q \in R^2, d(p, q) \leq r\}$$

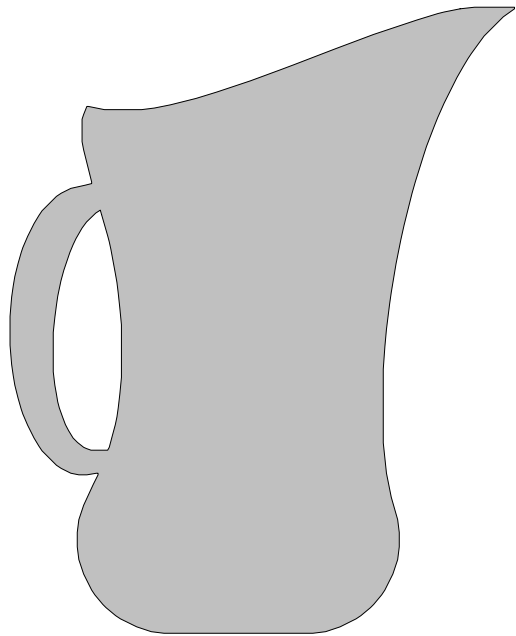


такое, что $\tilde{S}_r(p) \subset A$.

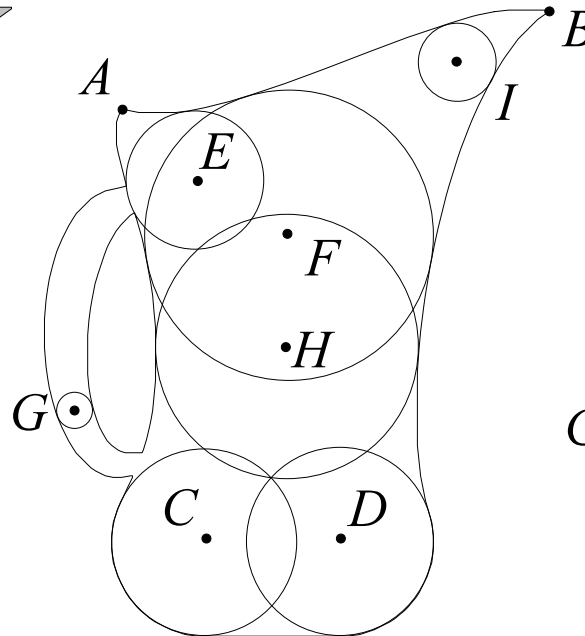
Максимальным пустым кругом называется пустой круг, который не содержится ни в каком другом пустом круге. Другое название — *вписанный круг*.

Скелет фигуры

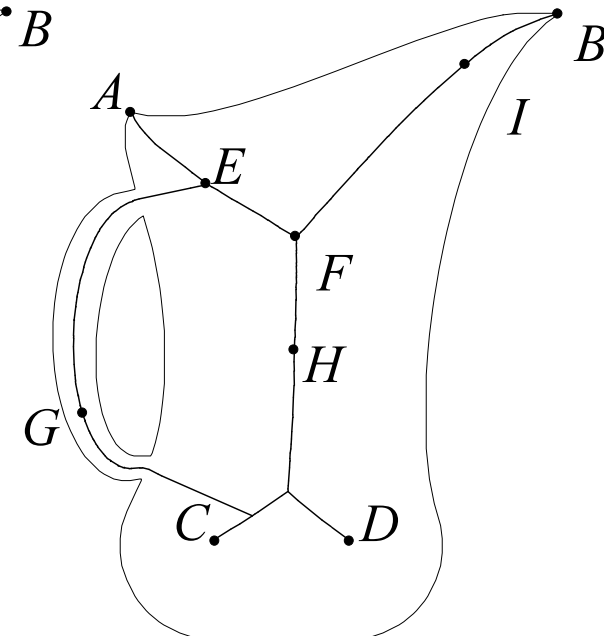
Скелетом фигуры называется множество центров всех её максимальных пустых кругов.



(a)



(б)



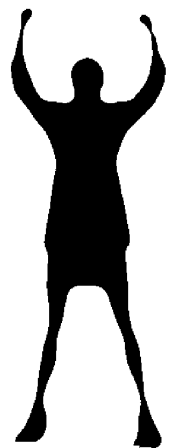
(в)

(a) фигура и её граница;

(б) примеры максимальных пустых кругов;

(в) скелет фигуры.

Скелет – дескриптор формы



(a)



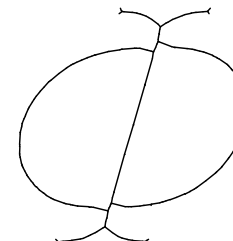
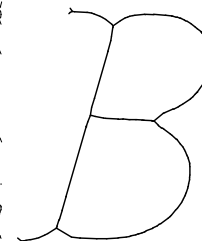
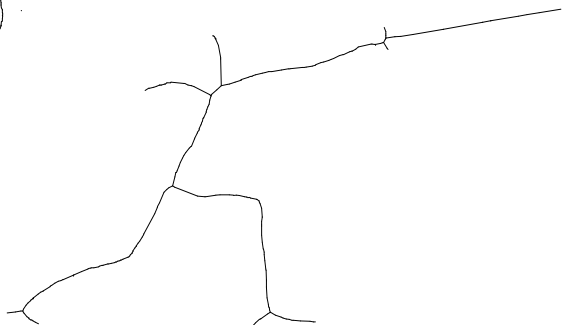
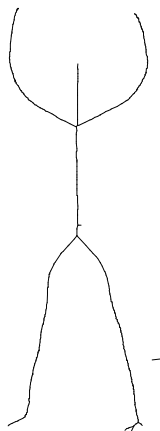
(б)



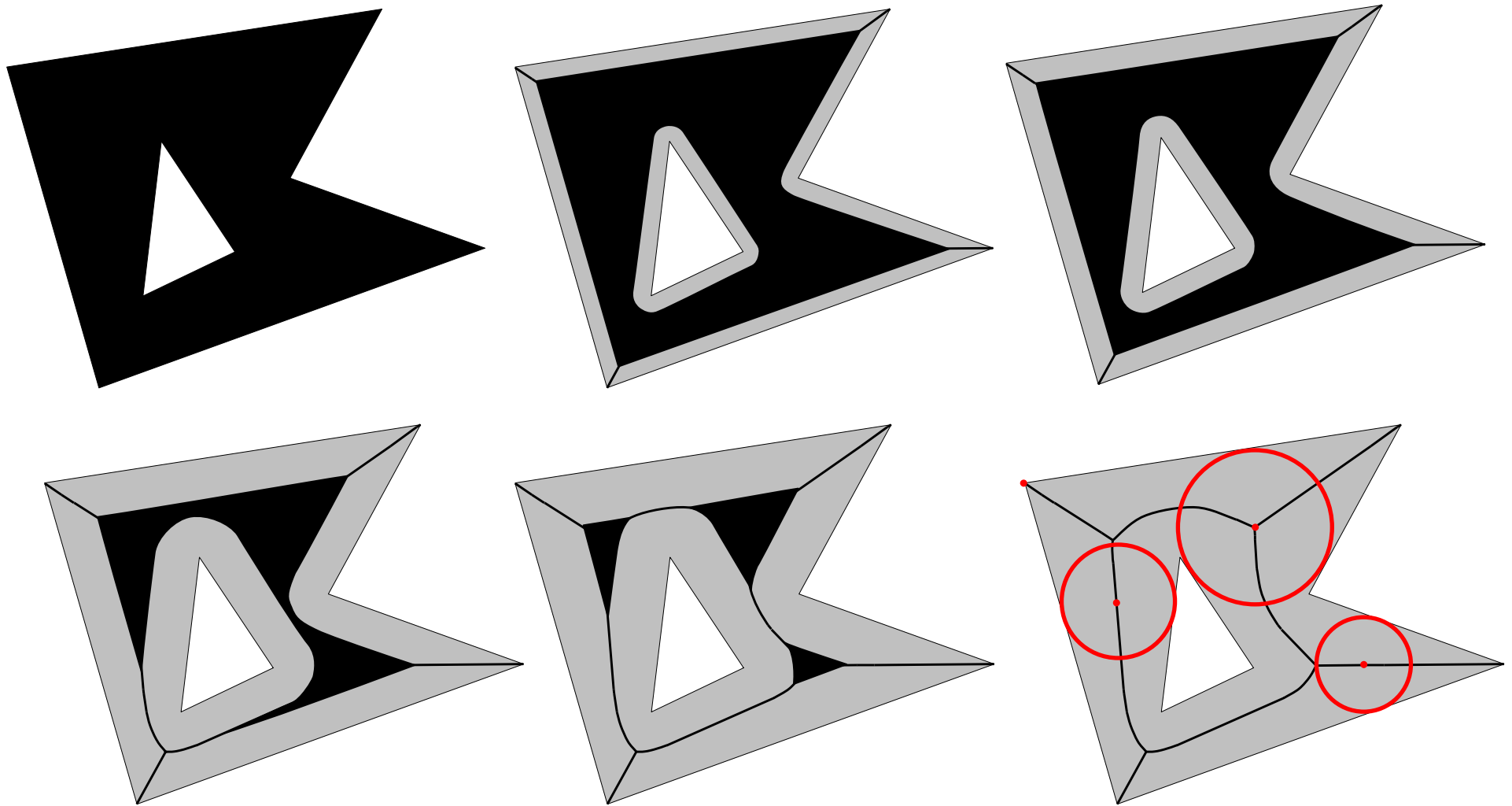
(в)

B *Φ*

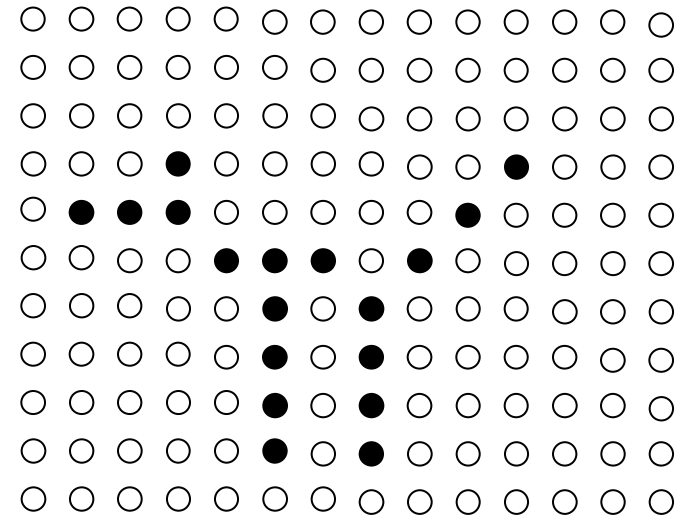
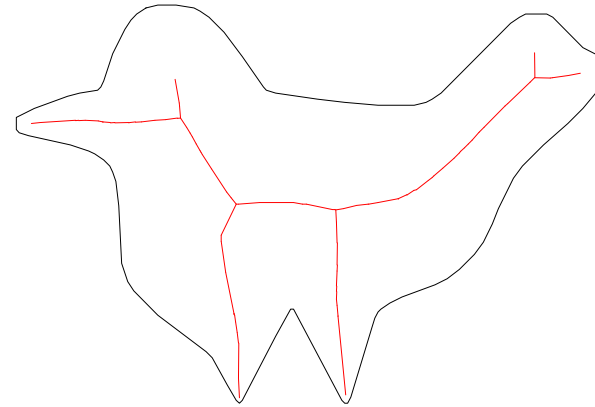
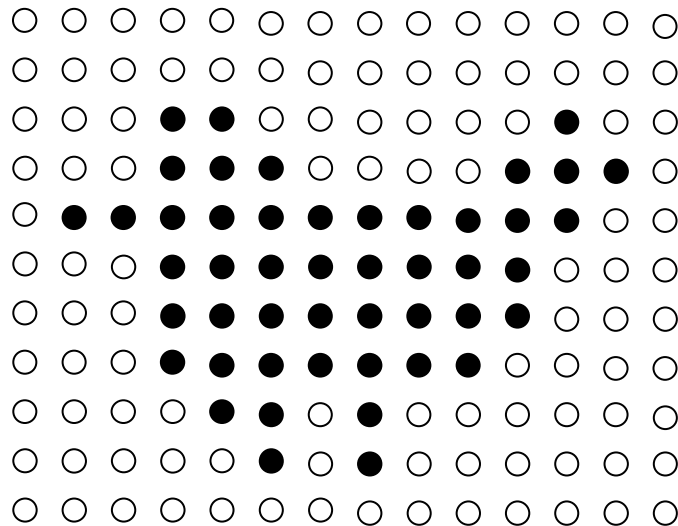
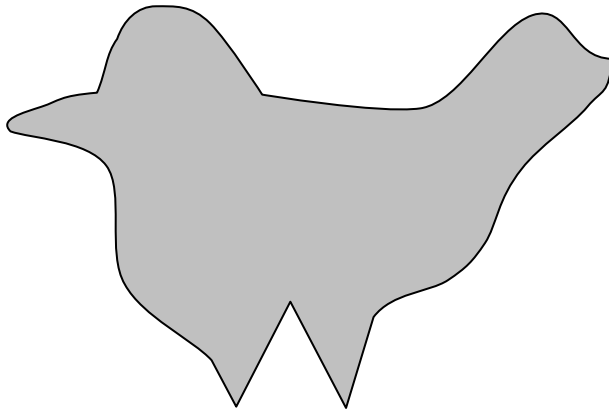
(г)



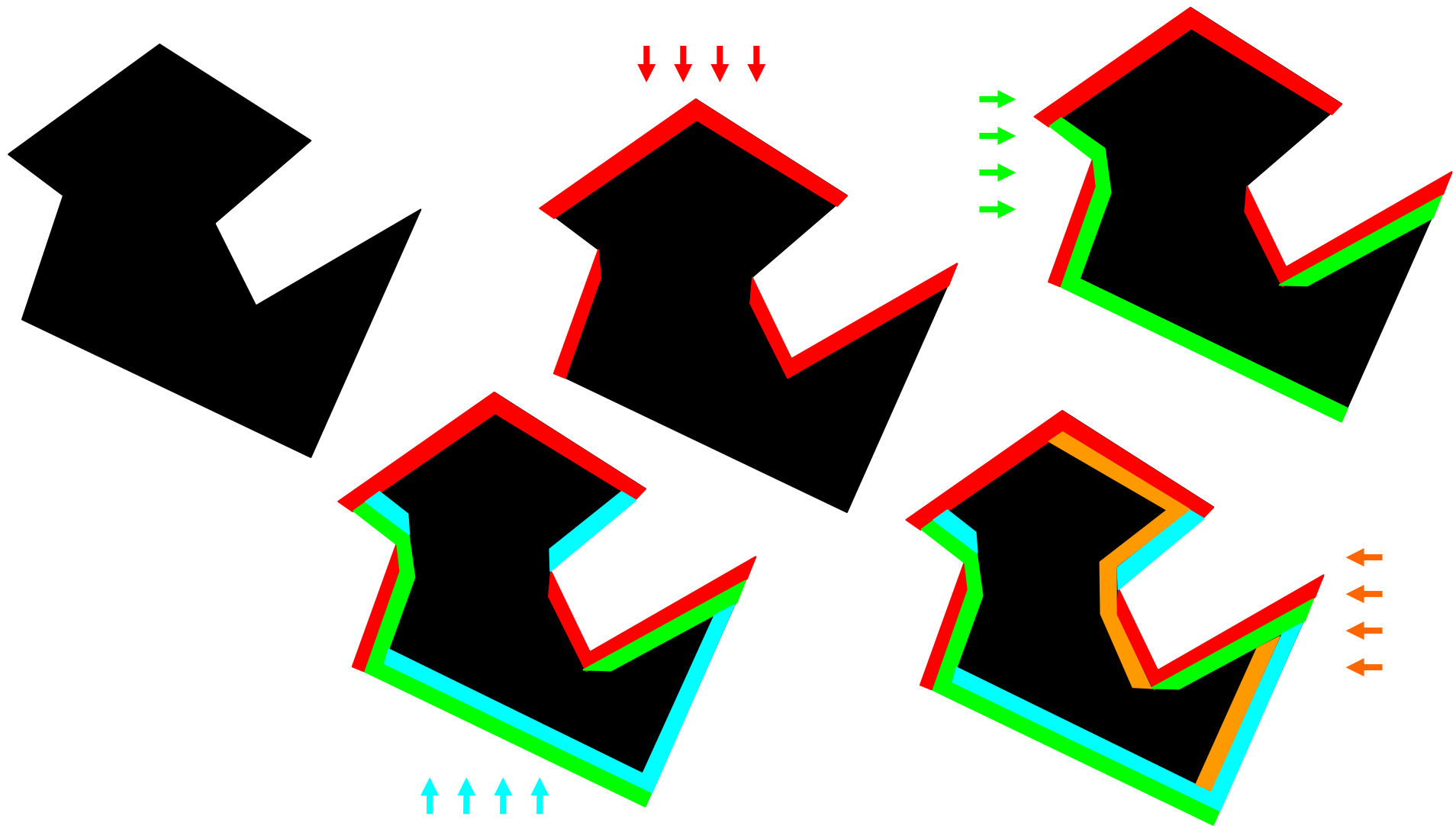
Метафора «Пожар в степи»



Скелет дискретной фигуры



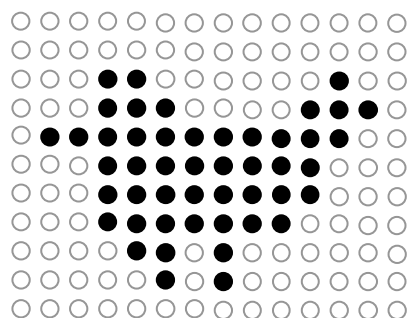
Скелетизация через утончение



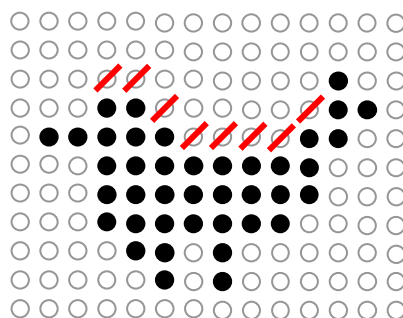
Принципы алгоритма Розенфельда

1. Имитация пожара в степи путём последовательного перекрашивания граничных точек объекта
2. На каждом шаге перекрашивание всех граничных точек, имеющих смежные фоновые точки с одного направления: сверху, снизу, слева или справа
3. Перекрашивание только тех чёрных граничных точек, которые имеют две или больше соседних чёрных точек
4. Перекрашивание только тех чёрных граничных точек, которые не нарушают связности оставшейся части фигуры. При этом связность и соседство оцениваются либо по 4-смежности, либо по 8-смежности

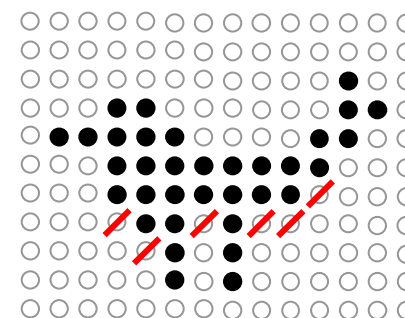
Алгоритм Розенфельда для 4-смежной структуры соседства



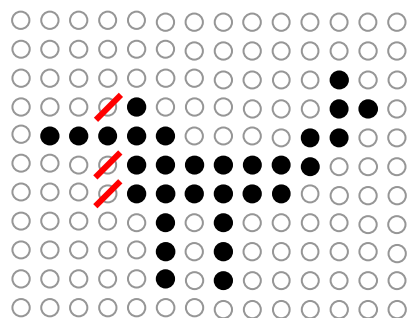
(a) исходный



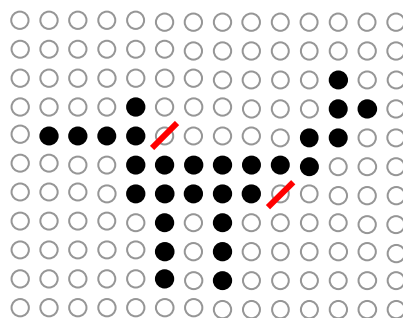
(б) север



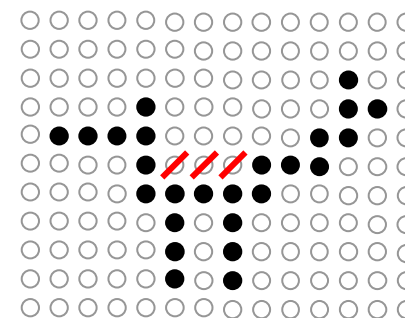
(в) юг



(г) запад

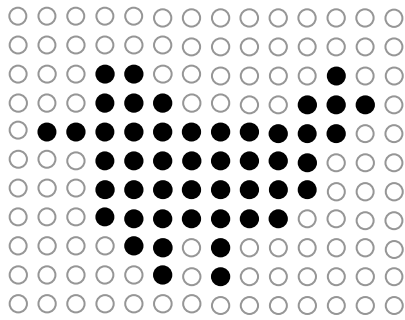


(д) восток

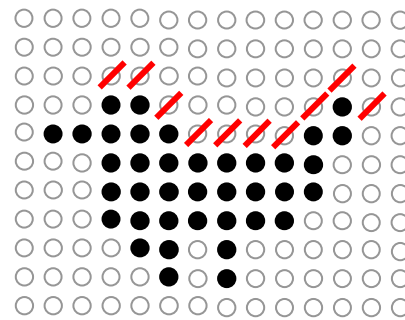


(е) север

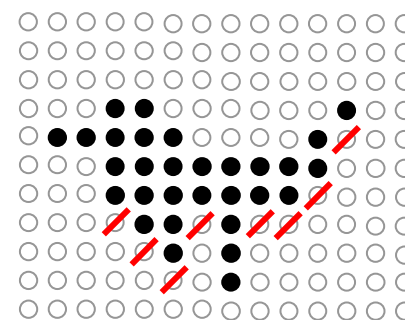
Алгоритм Розенфельда для 8-смежной структуры соседства



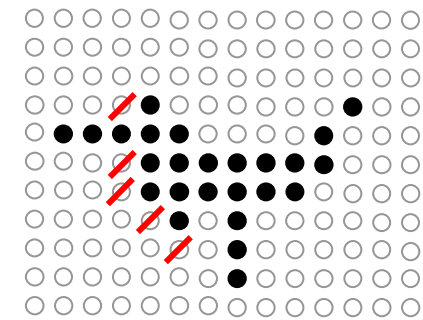
(a) ИСХОДНЫЙ



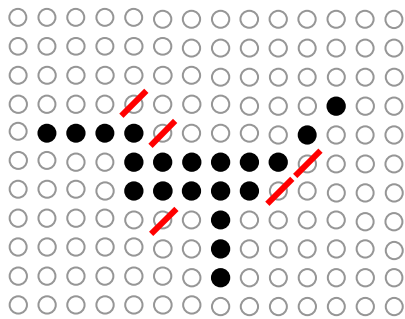
(б) север



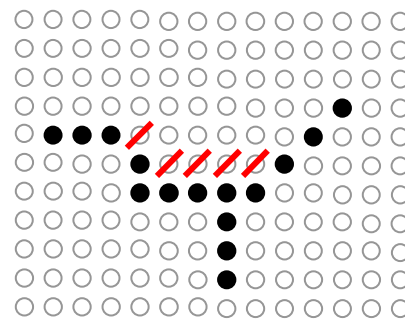
(в) юг



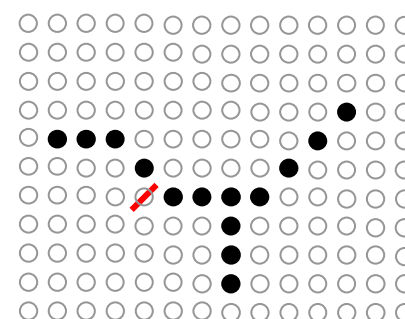
(г) запад



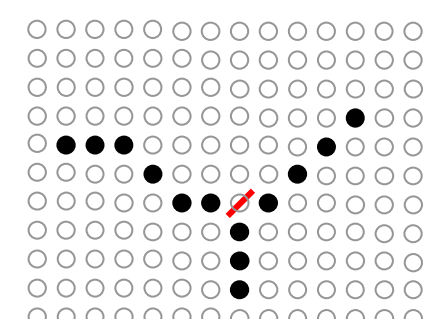
(д) восток



(е) север



(ж) юг



(з) север

Концевые и изолированные точки

a	b	c
d	p	e
f	g	h

(a)

1		1
1	1	1
	1	1

(b)

	1	
1	1	
1	1	1

(c)

1	1	1
	1	1
1	1	1

(d)

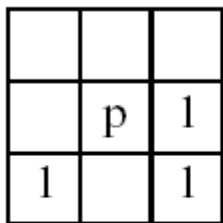
	1	
1	1	1
1		1

(e)

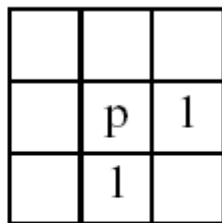
- Граничная точка p называется:
(b) северной, (c) восточной, (d) западной, (e) южной.
- Граничная точка называется 4-концевой (8-концевой), если только одна из её 4-соседних (8-соседних) точек является чёрной.
- Граничная точка называется 4-изолированной (8-изолированной), если среди её 4-соседних (8-соседних) нет чёрных точек.

Простые точки

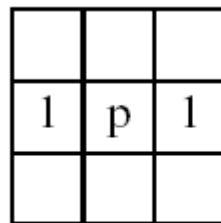
Граничная точка называется 4-простой (8-простой), если при перекрашивании её в белый цвет не изменяется 4-связность (8-связность) остающихся черных точек в пределах её 3×3 окрестности.



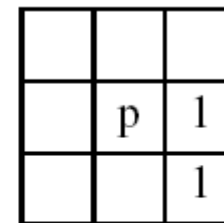
(a)



(b)



(c)



(d)

Точка p:

- (a) 4-простая, но не 8-простая;
- (b) 8-простая, но не 4-простая;
- (c) не 8-простая и не 4-простая;
- (d) 8-простая и 4-простая.

Алгоритм для 4-смежности

Повторять, пока на шагах 1-4 меняется цвет хотя бы одной точки:

Шаг 1: (параллельно) Заменить все чёрные точки на белые, если они – северные граничные точки, являются 4-простыми, но ни 4-изолированными, ни 4-концевыми.

Шаг 2: (параллельно) Заменить все чёрные точки на белые, если они – южные граничные точки, являются 4-простыми, но ни 4-изолированными, ни 4-концевыми.

Шаг 3: (параллельно) Заменить все чёрные точки на белые, если они – восточные граничные точки, являются 4-простыми, но ни 4-изолированными, ни 4-концевыми.

Шаг 4: (параллельно) Заменить все чёрные точки на белые, если они – западные граничные точки, являются 4-простыми, но ни 4-изолированными, ни 4-концевыми.

Алгоритм Зонга-Суня

p_9	p_2	p_3
p_8	p_1	p_4
p_7	p_6	p_5

$A(p_1)$ – количество переходов 0-1 в последовательности

точек $p_2, p_3, \dots, p_9, p_2$;

$B(p_1)$ – количество соседних чёрных точек для точки p_1 .

$p_i=0$ – белая точка, $p_i=1$ – чёрная точка,

На каждой итерации выполняются три шага перекрашивания чёрных точек.

Шаги перекрашивания

Шаг 1. Удаление точек на юго-восточной границе и северо-западных угловых точек:

Точка p_1 перекрашивается, если выполняются следующие условия:

$$1) \quad 2 \leq B(p_1) \leq 6$$

$$2) \quad A(p_1)=1$$

$$3) \quad p_2 \times p_4 \times p_6 = 0$$

$$4) \quad p_4 \times p_6 \times p_8 = 0$$

Шаг 2. Удаление точек на северо-западной границе и юго-восточных угловых точек:

$$1) \quad 2 \leq B(p_1) \leq 6$$

$$2) \quad A(p_1)=1$$

$$3) \quad p_2 \times p_4 \times p_8 = 0$$

$$4) \quad p_2 \times p_6 \times p_8 = 0$$

Шаг 3. Ищутся две чёрные точки по вертикали или горизонтали, которые окружены белыми:

$$1) \quad (1-p_9) \times p_4 \times p_6 = 1$$

$$2) \quad (1-p_5) \times p_8 \times p_2 = 1$$

$$3) \quad (1-p_3) \times p_6 \times p_8 = 1$$

$$4) \quad (1-p_7) \times p_2 \times p_4 = 1$$

Признаки формы

Топологическая структура скелетного графа:

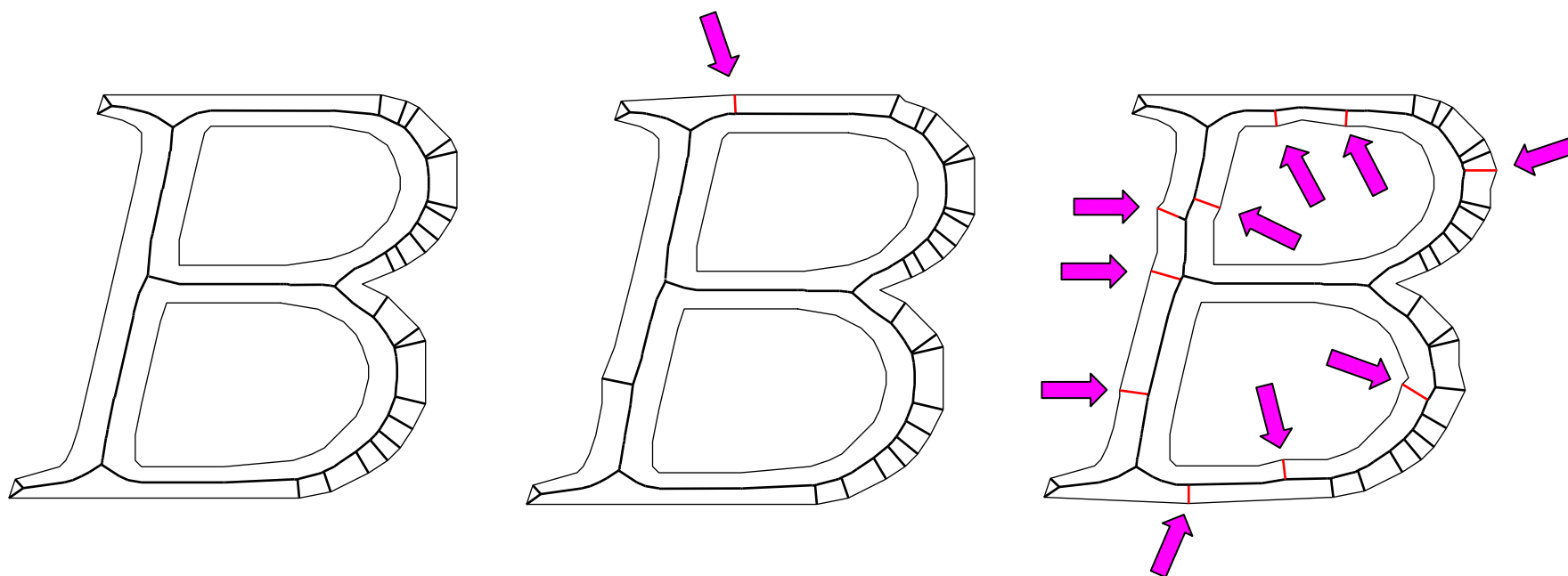
- Количество терминальных вершин
- Количество вершин третьей степени
- Наличие циклов

Метрические свойства:

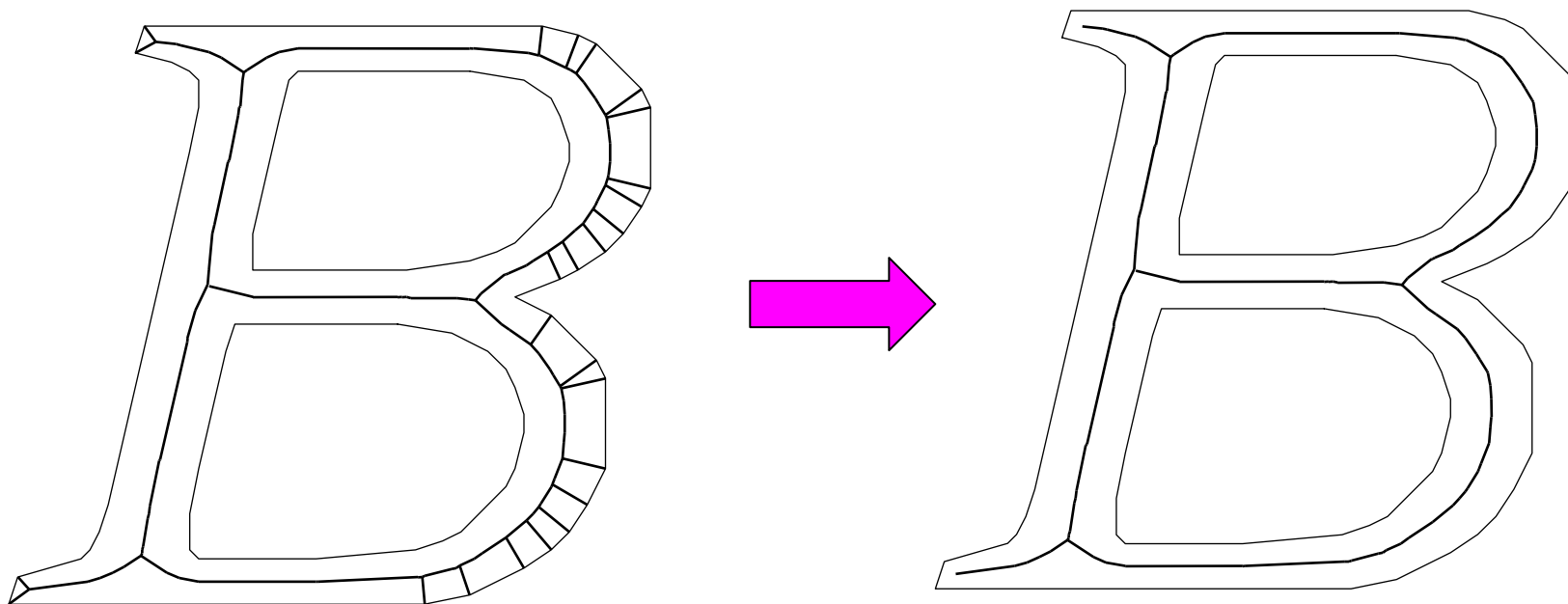
- Длины ветвей
- Ширина элементов (расстояние от точек скелета до границы).

Проблема устойчивости

Малые изменения формы приводят к существенным изменениям скелета.



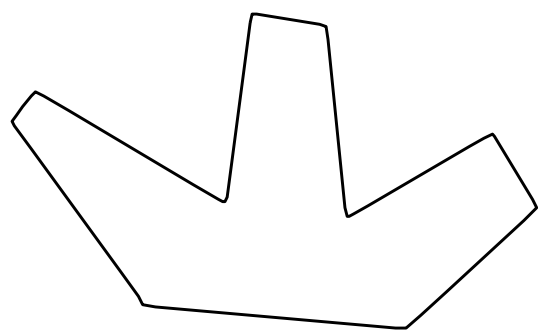
Задача регуляризации скелета



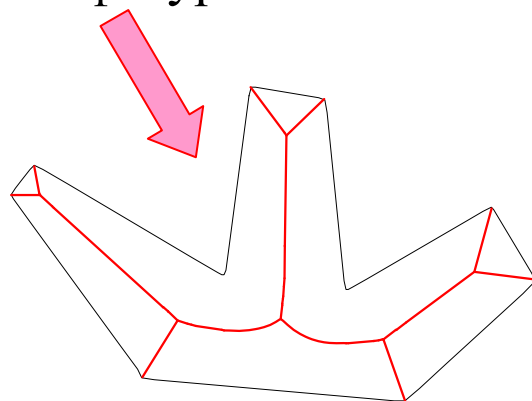
Стрижка скелета:

- удаление «шумовых» ветвей;
- выделение существенных фундаментальных элементов.

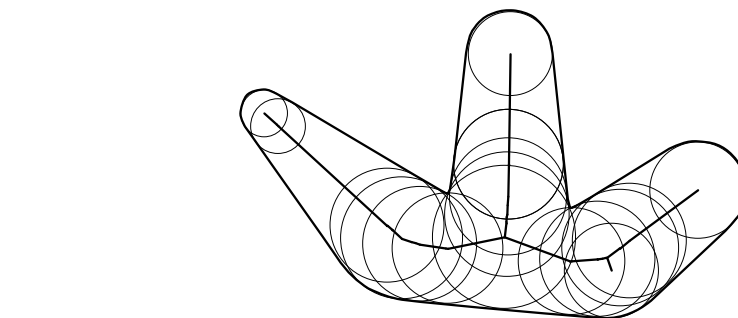
Принципы стрижки скелета



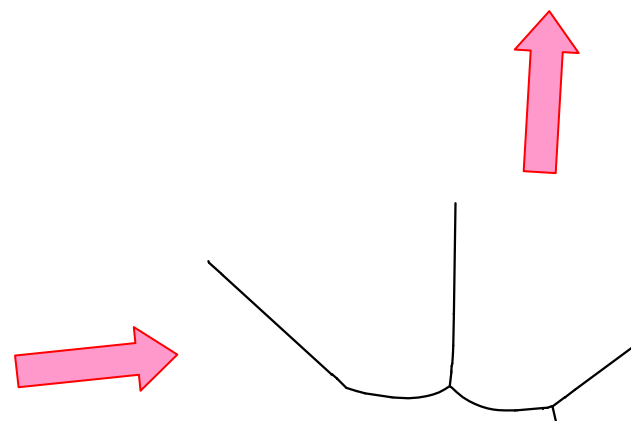
1. Многоугольная фигура



2. Скелет фигуры



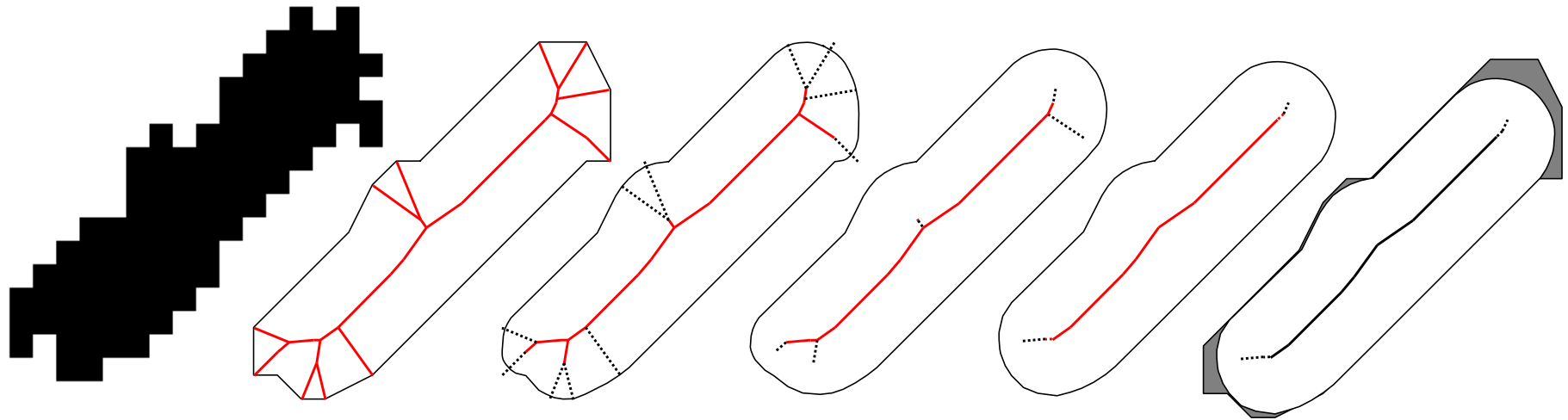
4. Силуэт стриженного скелета



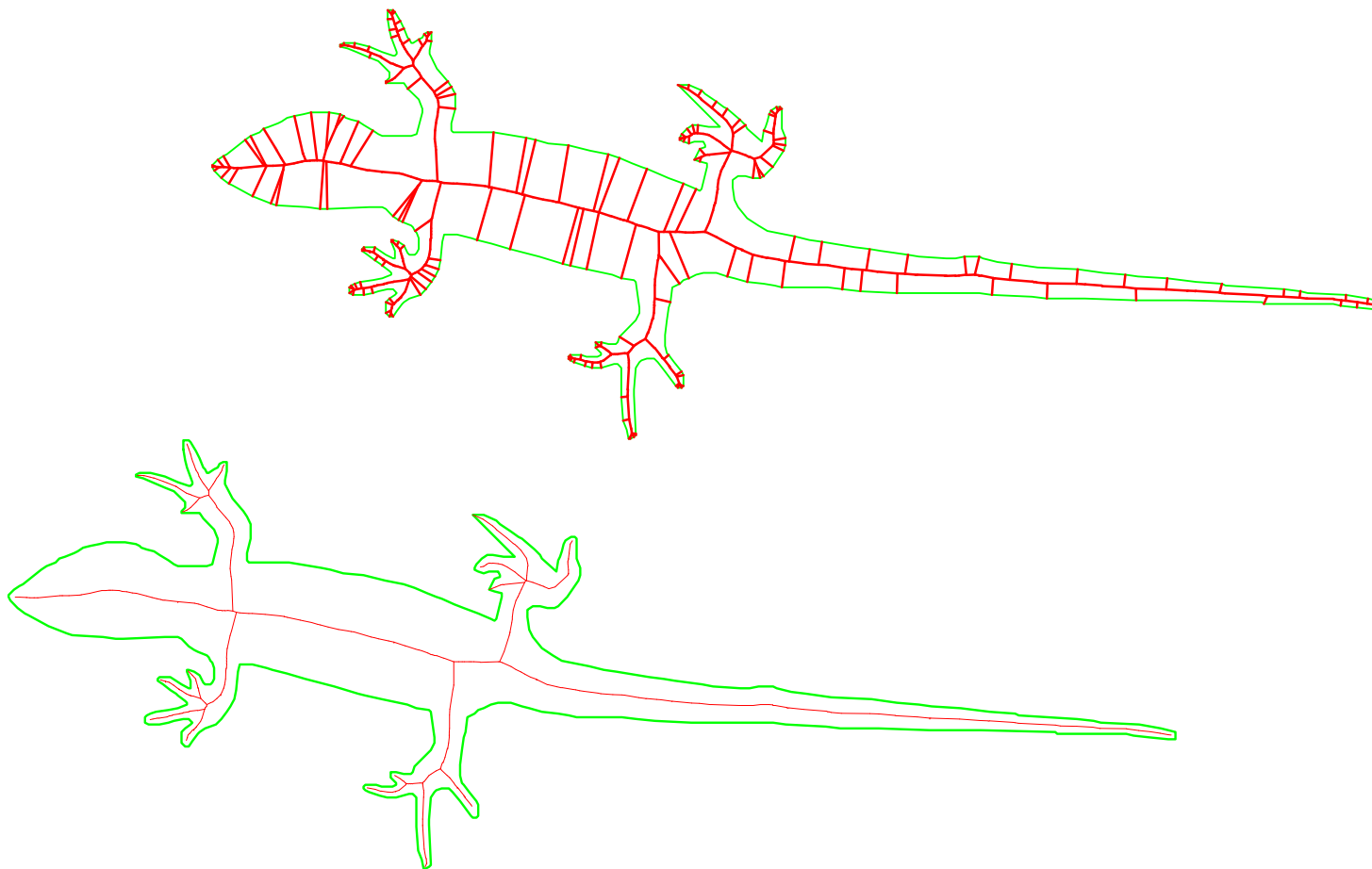
3. «Стриженный» скелет фигуры

Базовый скелет фигуры

Базовым скелетом фигуры C будем называть такой минимальный укороченный подграф S' её скелета S , для силуэта которого $V_{S'}$ выполнено условие $H(C, V_{S'}) \leq \varepsilon$, где ε – заданная положительная величина, а $H(C, V_{S'})$ – хаусдорфово расстояние между фигурой C и силуэтом $V_{S'}$.



Регуляризованный скелет



Приложения

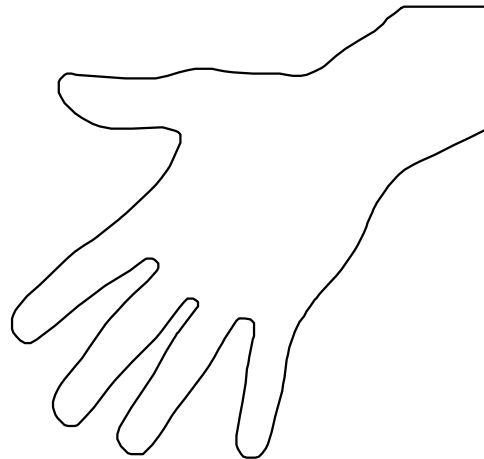
Биометрическая идентификация по форме ладони



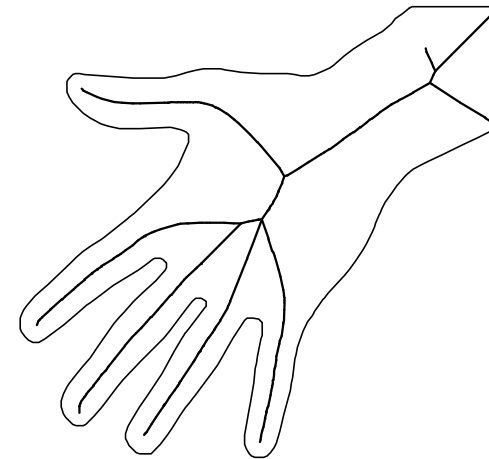
Сравнение формы ладоней



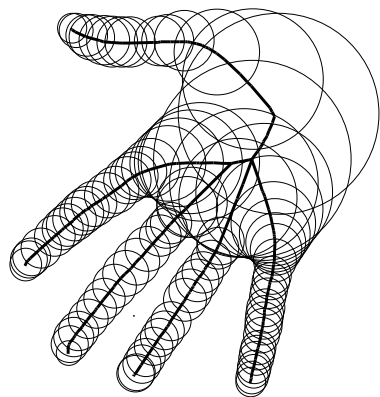
Силуэт ладони



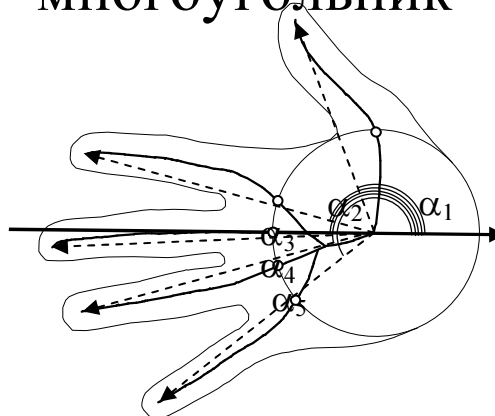
Граничный
многоугольник



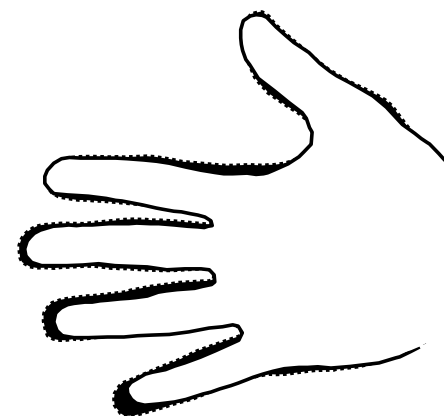
Скелет ладони



Гибкий объект



Нормализация



Сравнение

Классификация отпечатка пальца



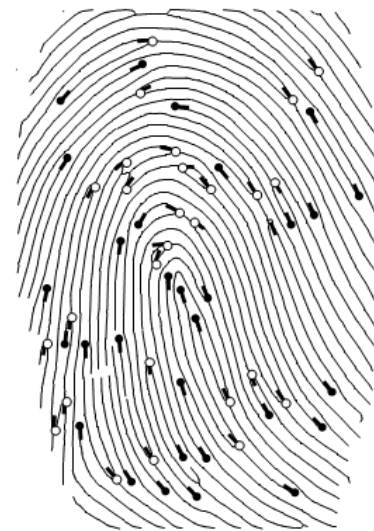
Бинарное
изображение



Многоугольная
фигура

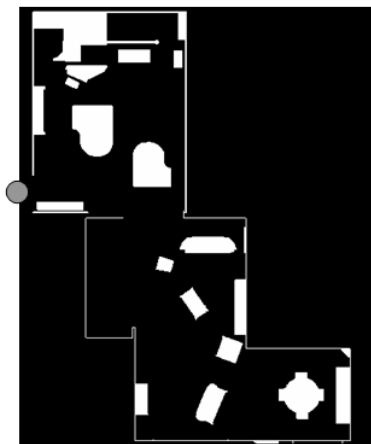


Скелет

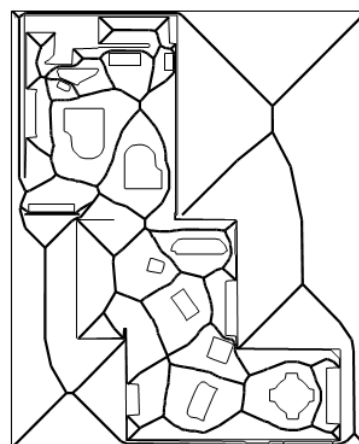


Особые
точки

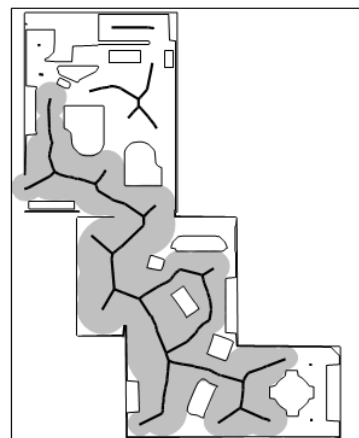
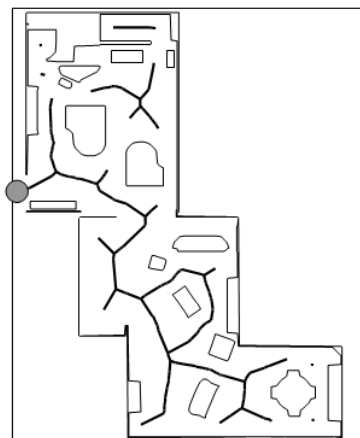
Маршрутизация



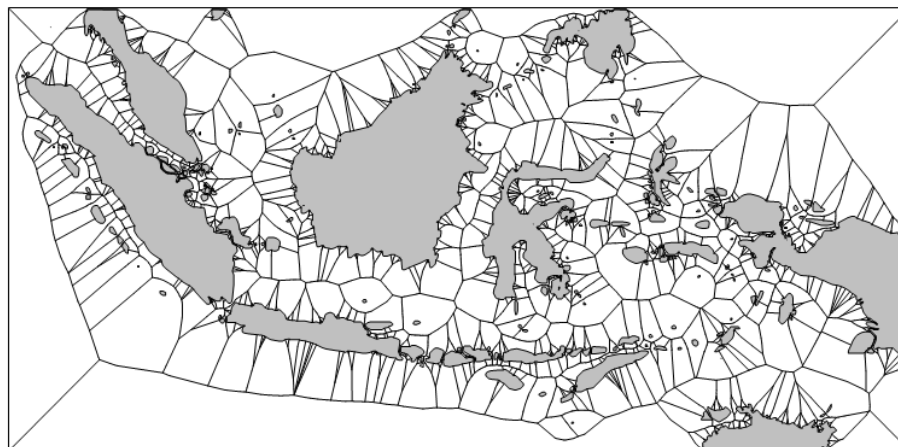
(a)



(б)



Маршрутизация



(a)

