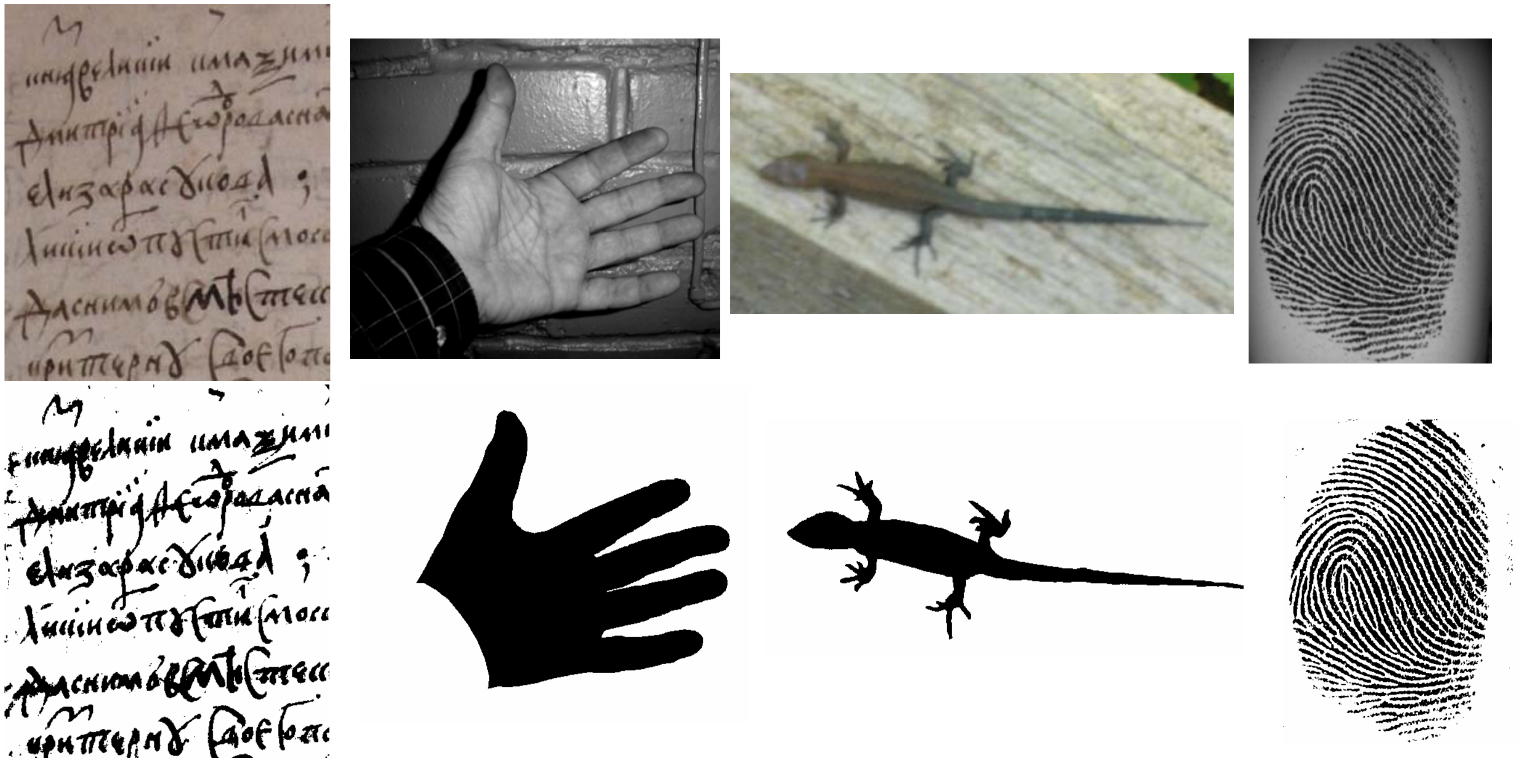
Генерация признаков формы на основе анализа границ

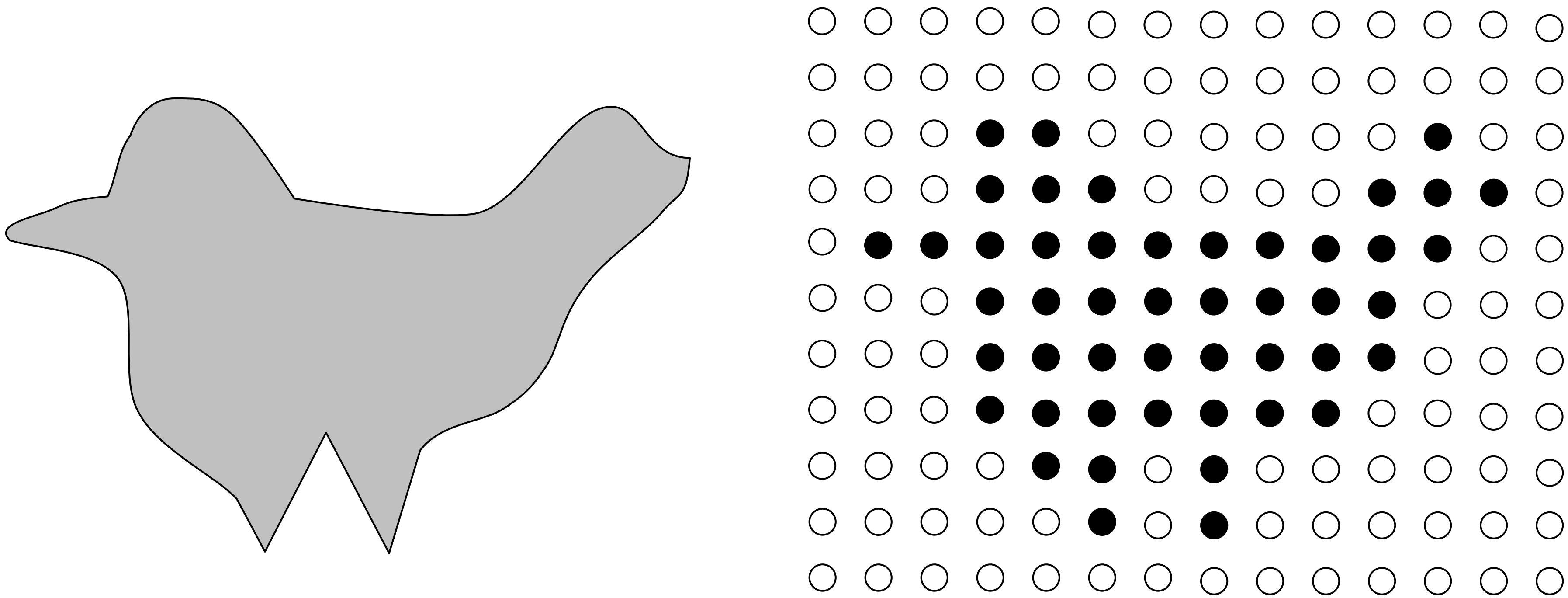
- Исходное описание образа в виде бинарного изображения
- Выделение границ образа
- Построение признакового описания на основе анализа границ

Выделение формы на основе бинаризации



Примеры полутоновых изображений (вверху) и полученных на основе их обработки бинарных изображений (внизу)

Дискретное представление формы



Непрерывное и дискретное представление формы

Растровая решётка

1. *Растровой решёткой* называется квадратная решётка Z^2, состоящая из точек евклидовой плоскости с целочисленными координатами.
2. В растровой решётке две точки называются *непосредственными соседями* (или просто соседями), если евклидово расстояние между ними равно 1.
3. В растровой решётке две точки называются *косвенными соседями*, если расстояние между ними равно $\sqrt{2}$.

Растровая решётка и структуры соседства

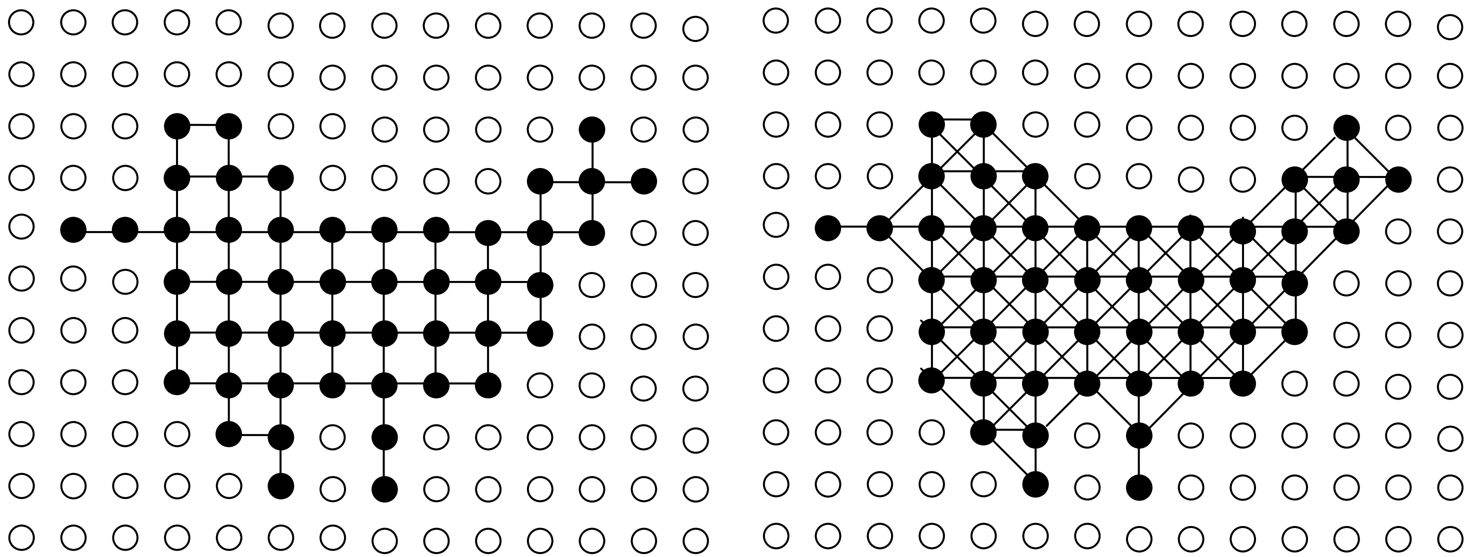
4. 4-*смежностью* (или *сильной смежностью*) называется структура соседства, при которой соседними точками считаются только непосредственные соседи.
5. 8-*смежностью* (или *слабой смежностью*) называется структура соседства, при которой соседними точками считаются как непосредственные, так и косвенные соседи.

Структуры соседства точек растровой решётки: 4-смежность и 8-смежность.

Граф смежности множества точек

$P \subset Z^2$ – множество точек в растровой решётке.

$G = \langle P, E \rangle$ – граф, вершинами которого являются точки из P, а рёбрами – прямолинейные отрезки, соединяющие все пары соседних вершин. Соседство вершин задаётся принятой структурой соседства. Граф G называется **графом смежности** множества точек P.



Графы смежности для 4-смежности и 8-смежности

Связность множества точек

6. Множество точек в растровой решётке называется ***связным***, если его граф смежности является связным.

7. Два множества точек в растровой решётке называются ***разделёнными***, если их объединение не является связным.

Связные и разделённые множества точек

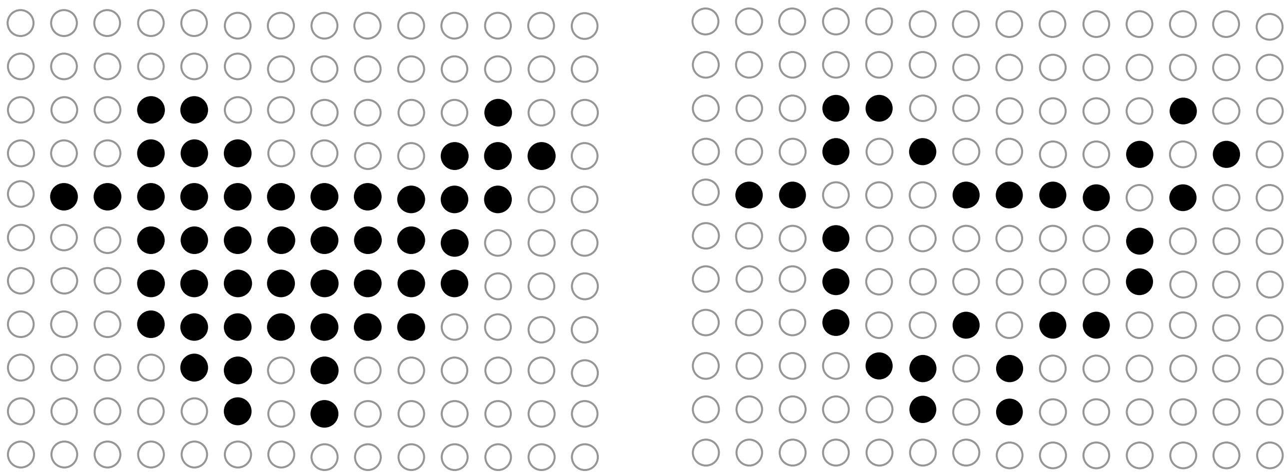
Дискретная фигура

Рассмотрим бинарное изображение на растровой решётке, задаваемое двухцветной раскраской точек. Множество чёрных точек растровой решётки изображает объекты, а множество белых точек – фон.

Дискретной фигурой называется максимальное связное конечное множество чёрных точек в растровой решётке.

Граничные точки дискретной фигуры

Точка дискретной фигуры называется ***граничной***, если она имеет соседнюю точку, не принадлежащую фигуре в 4-смежной структуре соседства.



Граничные точки дискретной фигуры

Задача построения границы

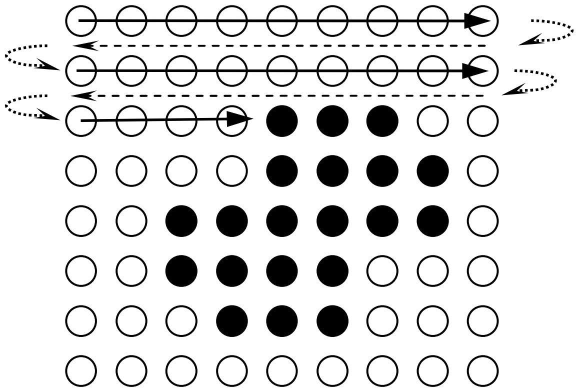
- Необходимо не только найти все граничные точки, но и упорядочить их вдоль края фигуры.
- При этом граница фигуры может состоять из нескольких связных компонент (внутренние и внешние контура).
- На изображении может быть несколько фигур.

Решение задачи включает два этапа:

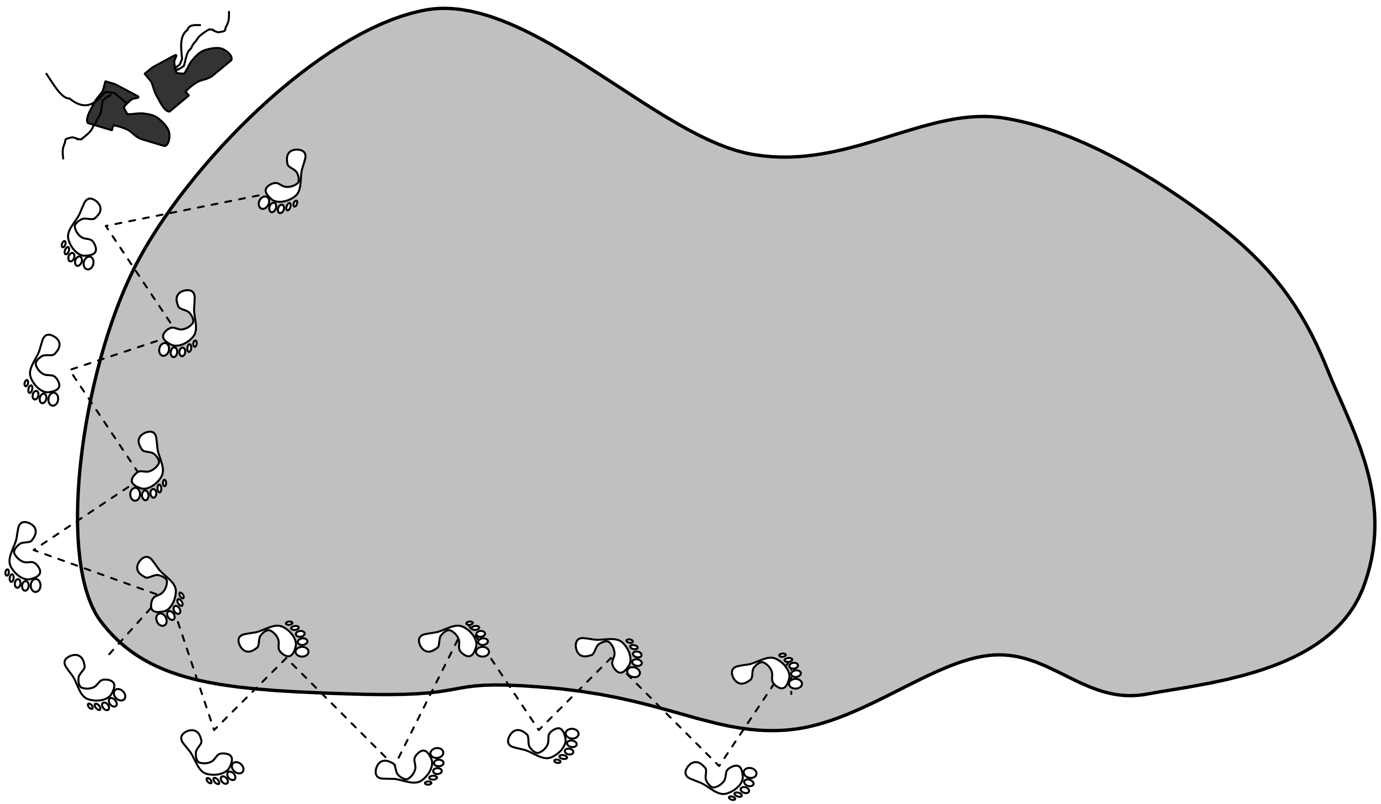
1. Поиск границы
2. Прослеживание границы

Поиск границы

- Задача поиска состоит в том, чтобы найти хотя бы одну граничную точку для каждого граничного контура.
- Поиск достаточно вести только среди горизонтальных пар смежных точек.
- Поиск может быть выполнен построчным сканированием бинарного изображения. Построчное сканирование – это просмотр всех строк дискретной сцены сверху вниз и всех точек в строках слева направо

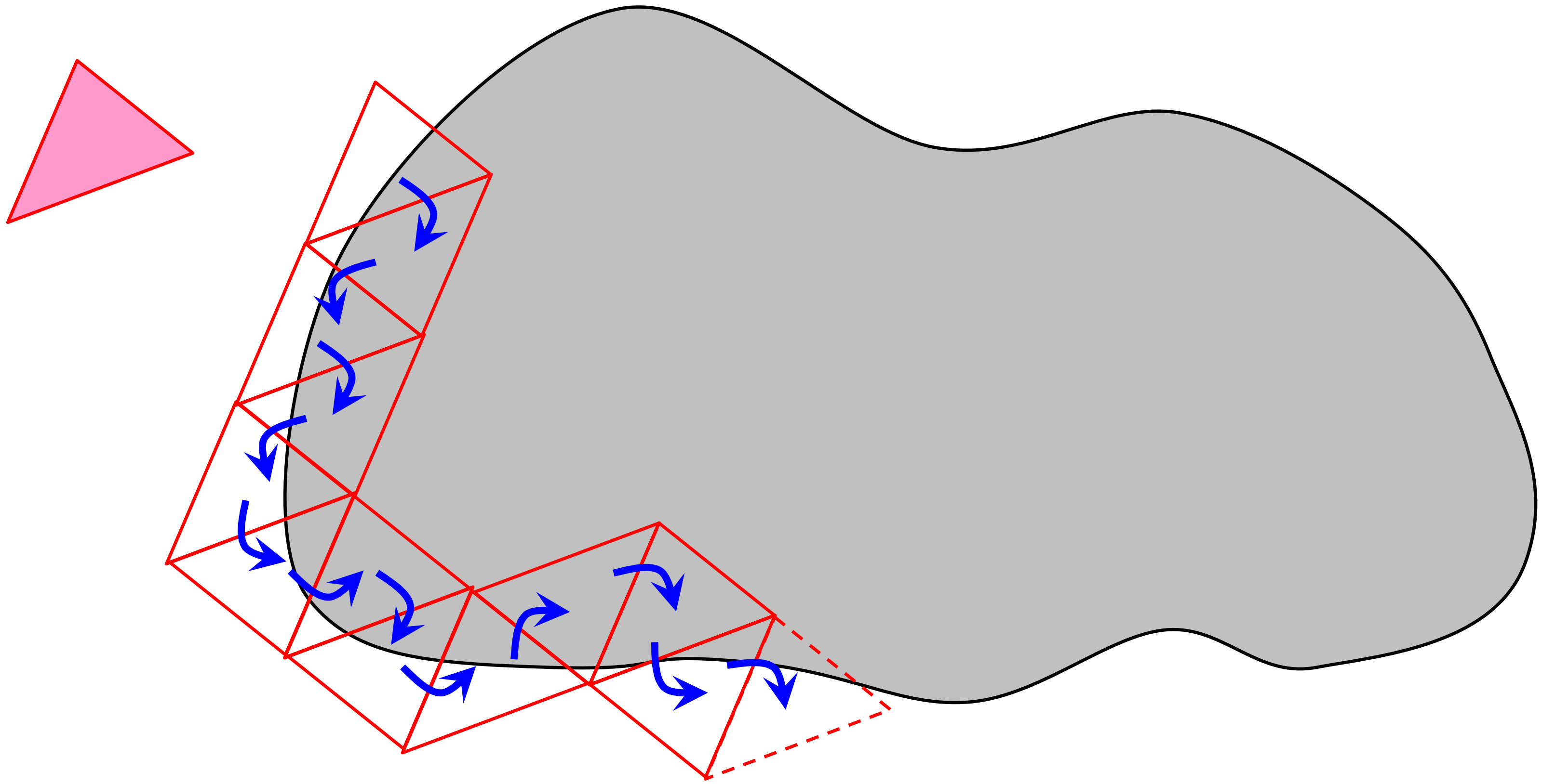


Прослеживание границы



Прослеживание границы лужи

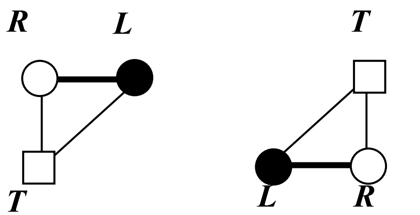
Симплексное прослеживание



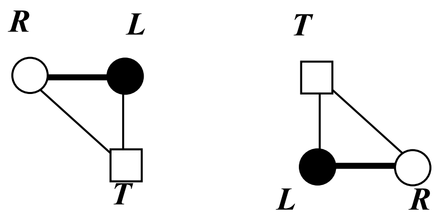
Прослеживание катящимся треугольником (симплексом)

Начальный треугольник

- Входными данными для начала прослеживания является горизонтальная пара разноцветных точек: $L=(L.x, L.y)$ – левая точка (чёрная), а $R=(R.x, R.y)$ – правая точка (белая). Чёрные точки лежат слева, а белые справа по ходу прослеживания.
- Третья вершина $T=(T.x, T.y)$ начального треугольника выбирается так, чтобы вершины треугольника L, R, T образовали правую тройку, т.е. располагались против часовой стрелки.



Диагональное направление



Антидиагональное направление

Для диагонального направления: $T.x = R.x, \quad T.y = R.y + (R.x - L.x),$

для антидиагонального: $T.x = L.x, \quad T.y = L.y + (R.x - L.x).$

Переворот треугольника

- Переворот выполняется через сторону треугольника RT или LT, причём через ту из них, у которой концевые точки имеют разные цвета (через разноцветную сторону).
- Новый треугольник является центрально симметричным старому относительно центра стороны, через которую выполняется переворот.

$$N = \begin{cases} T + (L - R) & \text{если } T \text{ чёрная} \\ T + (R - L) & \text{если } T \text{ белая} \end{cases}$$

Новый треугольник

(L_m, R_m, T_m) - треугольник на шаге m,

$(L_{m+1}, R_{m+1}, T_{m+1})$ - треугольник на шаге $m+1$,

$$L_{m+1} = \begin{cases} L_m, & \text{если } T_m \text{ белая} \\ T_m, & \text{если } T_m \text{ черная} \end{cases}$$

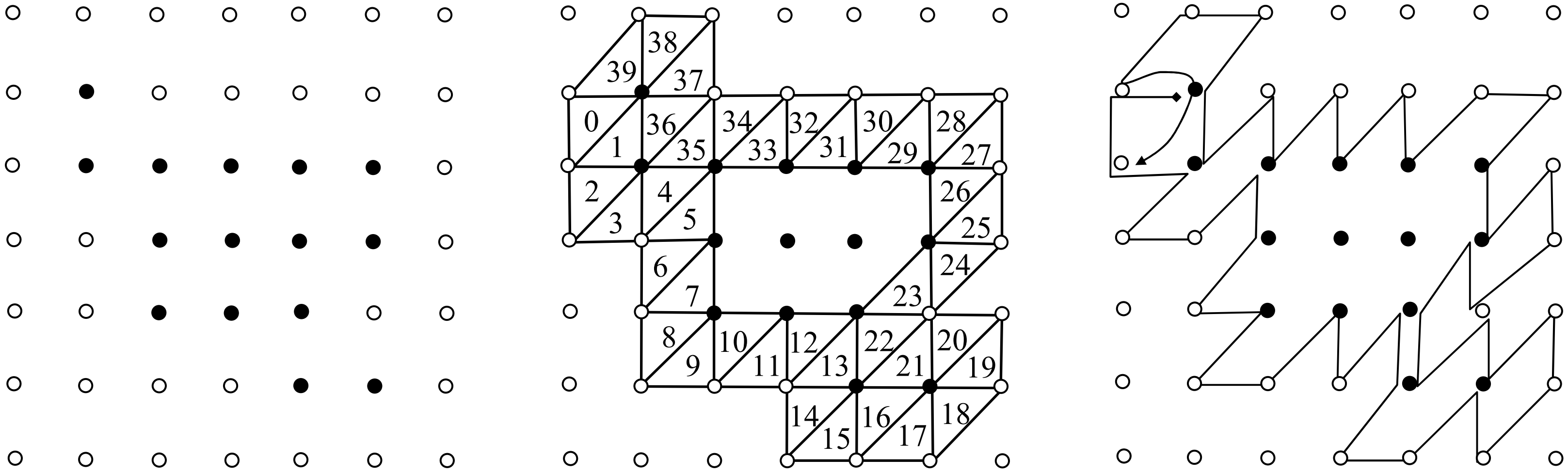
$$R_{m+1} = \begin{cases} T_m, & \text{если } T_m \text{ белая} \\ R_m, & \text{если } T_m \text{ черная} \end{cases}$$

$$T_{m+1} = N_m$$

Завершение прослеживания

Условие завершение процесса прослеживания: совпадение вновь образованного треугольника $(L_{m+1}, R_{m+1}, T_{m+1})$ с начальным треугольником (L_0, R_0, T_0), т.е. $L_{m+1} = L_0$, $R_{m+1} = R_0$, $T_{m+1} = T_0$.

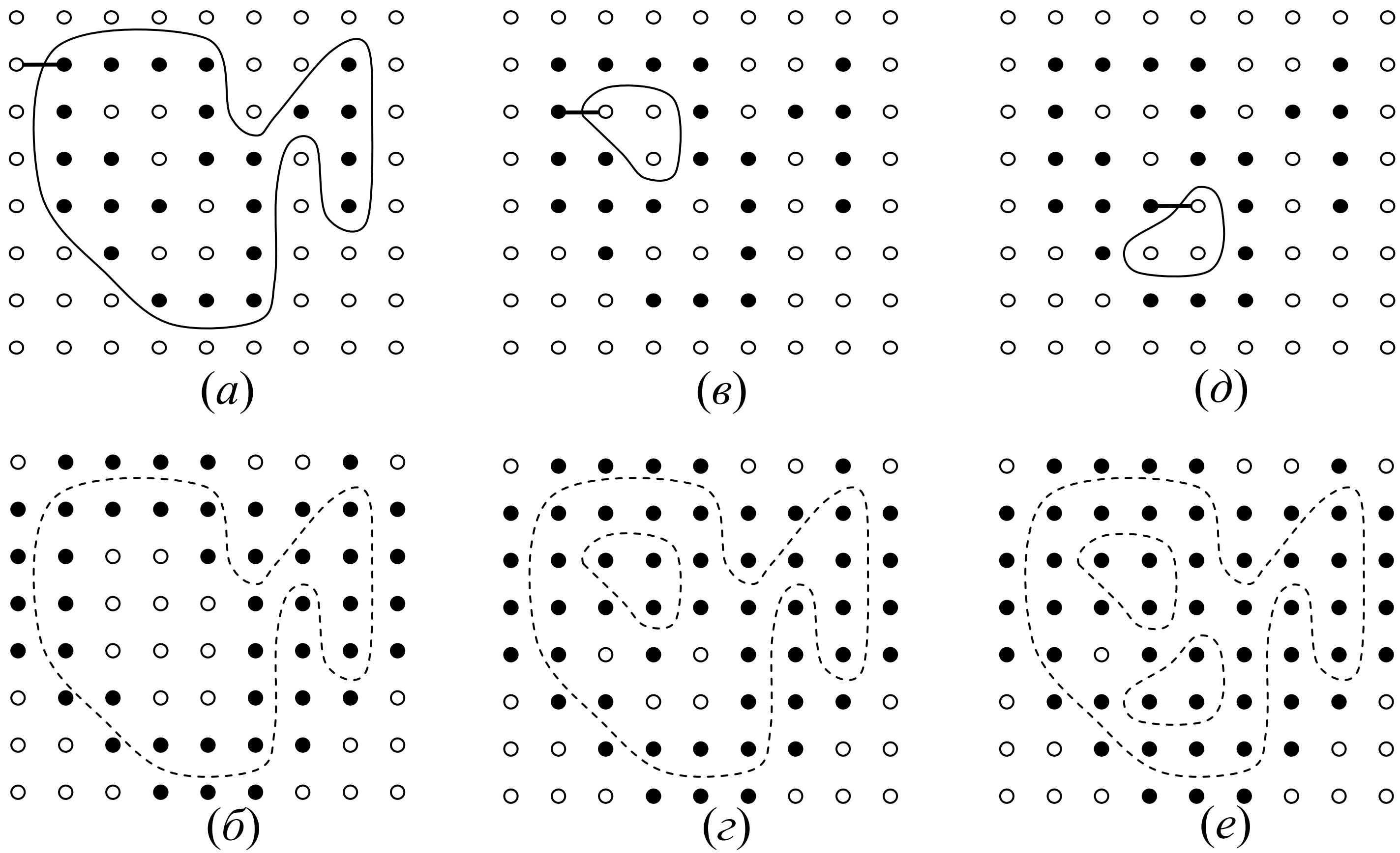
След трассировки



(*а*) (*б*) (*в*)

Пройденное при прослеживании множество точек $S = (L_0, R_0, T_0, T_1, T_2, \ldots, T_m)$ называется следом трассировки.

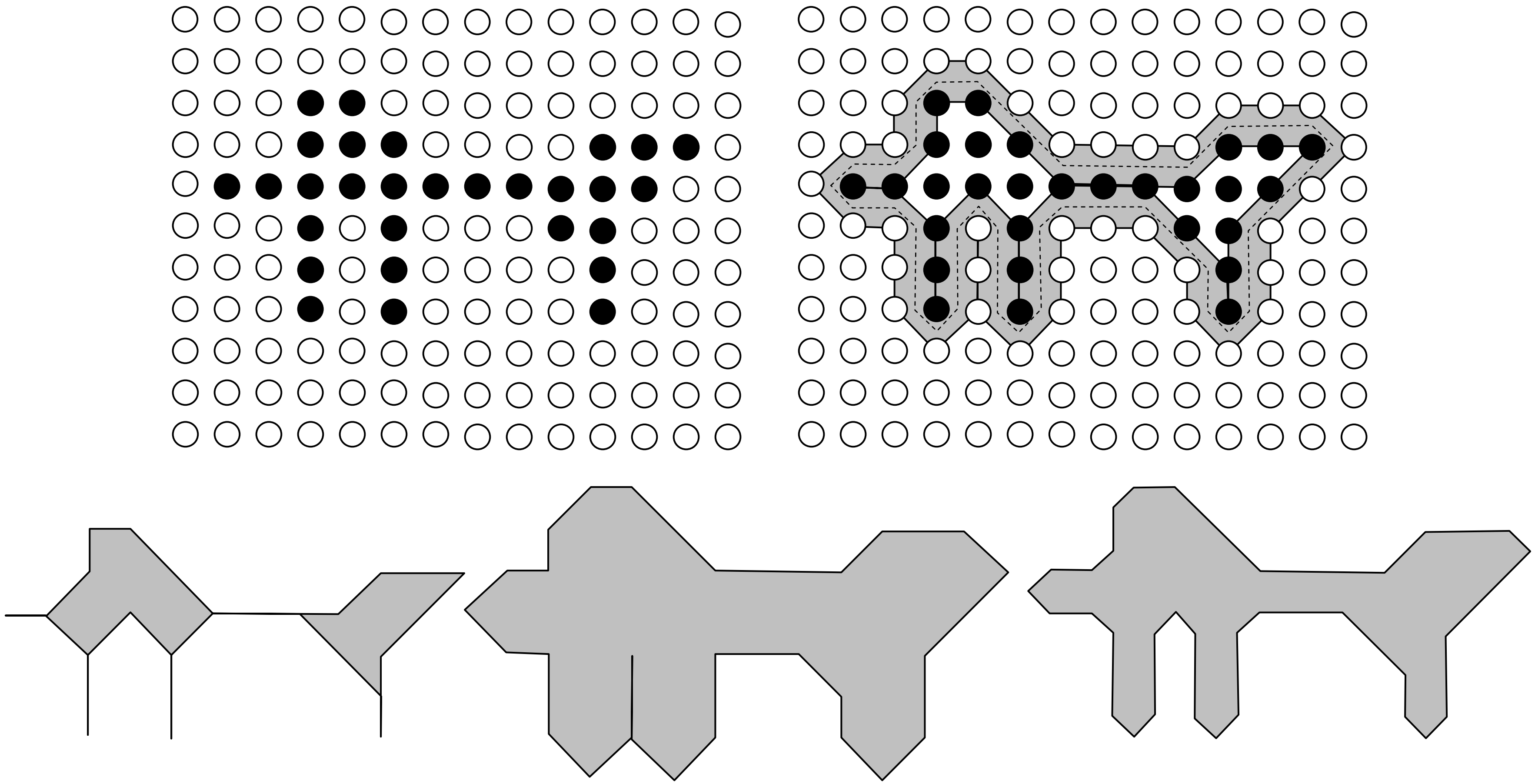
Продолжение поиска границы



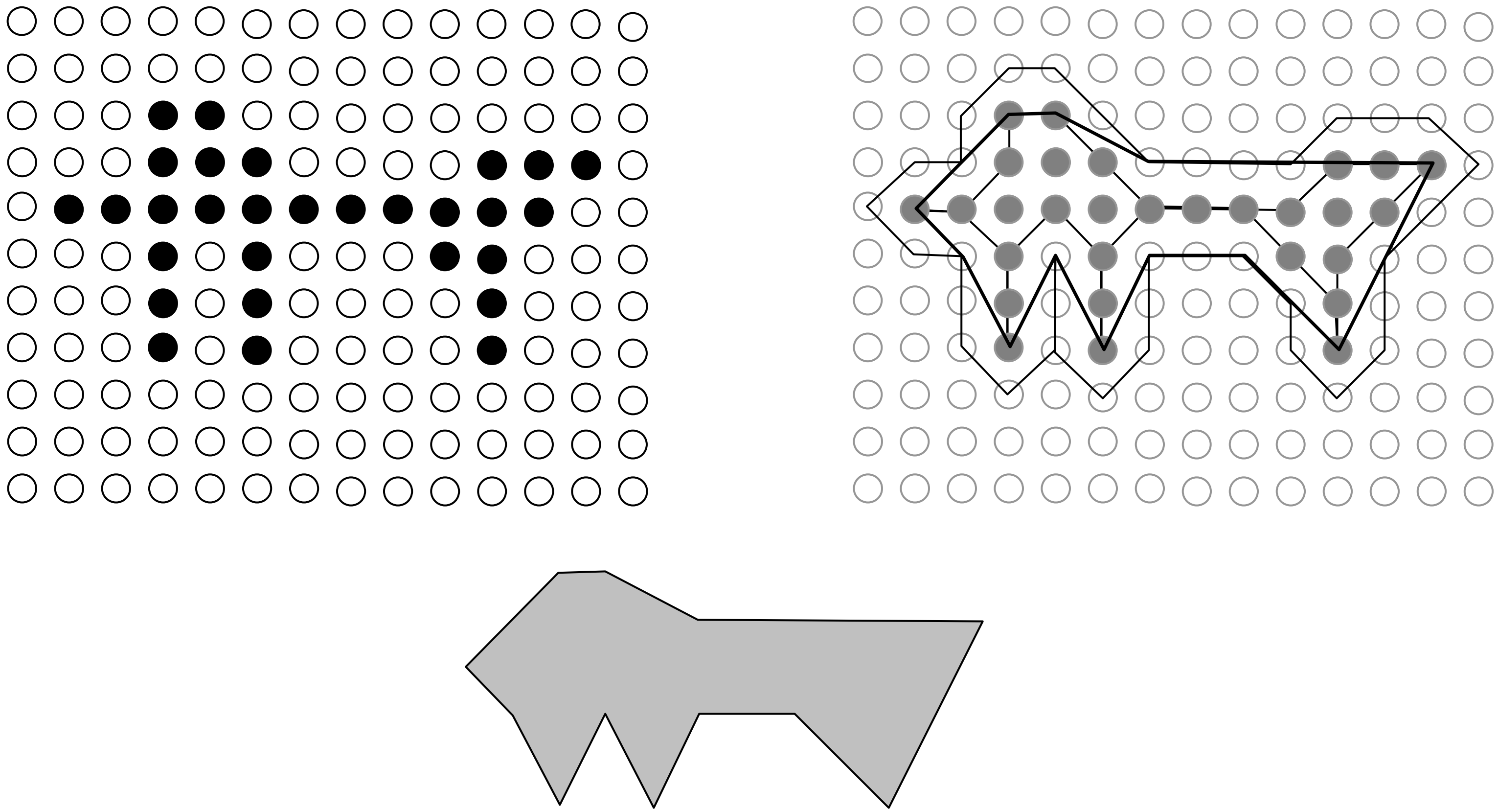
Найденные горизонтальные граничные пары (верхний ряд), матрица пометок (нижний ряд).

Условие: в найденной горизонтальной граничной паре должна быть хотя бы одна непомеченная точка.

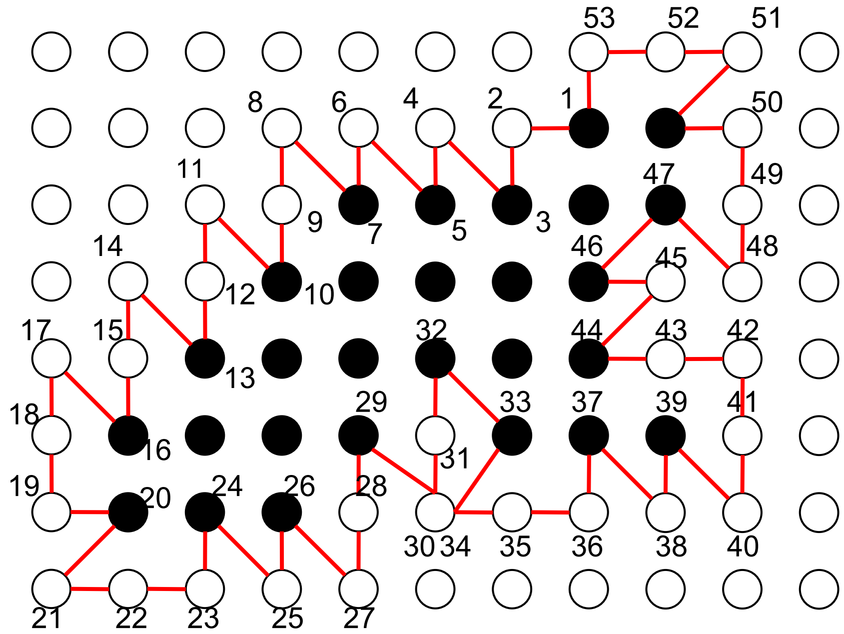
Аппроксимация границы многоугольниками

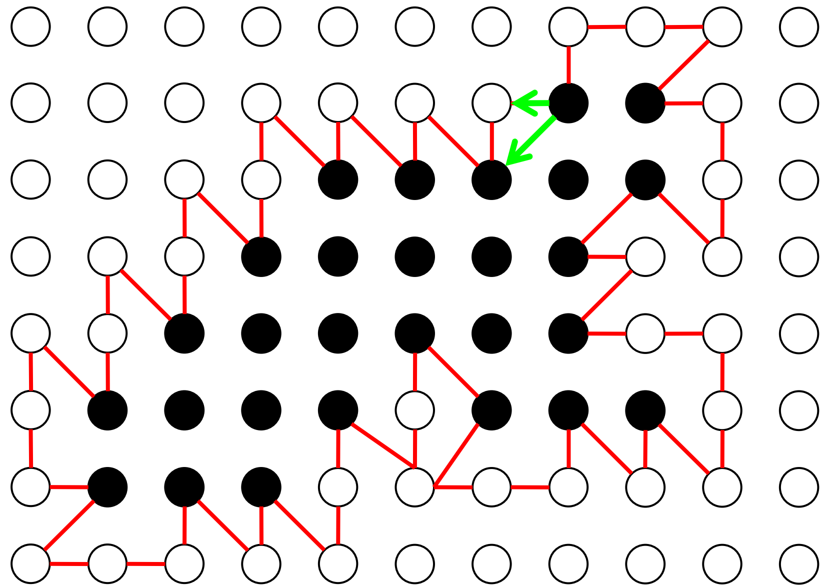


Минимальные разделяющие многоугольники



Первая вершина минимального разделяющего многоугольника





Первая угловая – черная точка в первой граничной паре
Для каждой угловой точки определяется сектор обзора – первая белая и первая чёрная точки в списке вслед за угловой.

Алгоритм вытягивания границы

1. Перебор точек следа трассировки, расположенных вслед за угловой;
2. Для каждой точки следа проверка на попадание в сектор обзора и корректировка сектора обзора;
3. Процесс завершается, когда очередная угловая точка совпала с начальной.

Коррекция сектора обзора

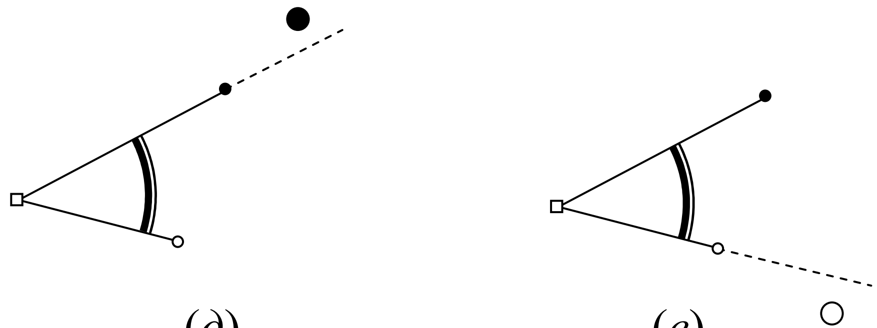
Коррекция
сектора обзора

(*а*) (*б*)

Появление новой
угловой точки

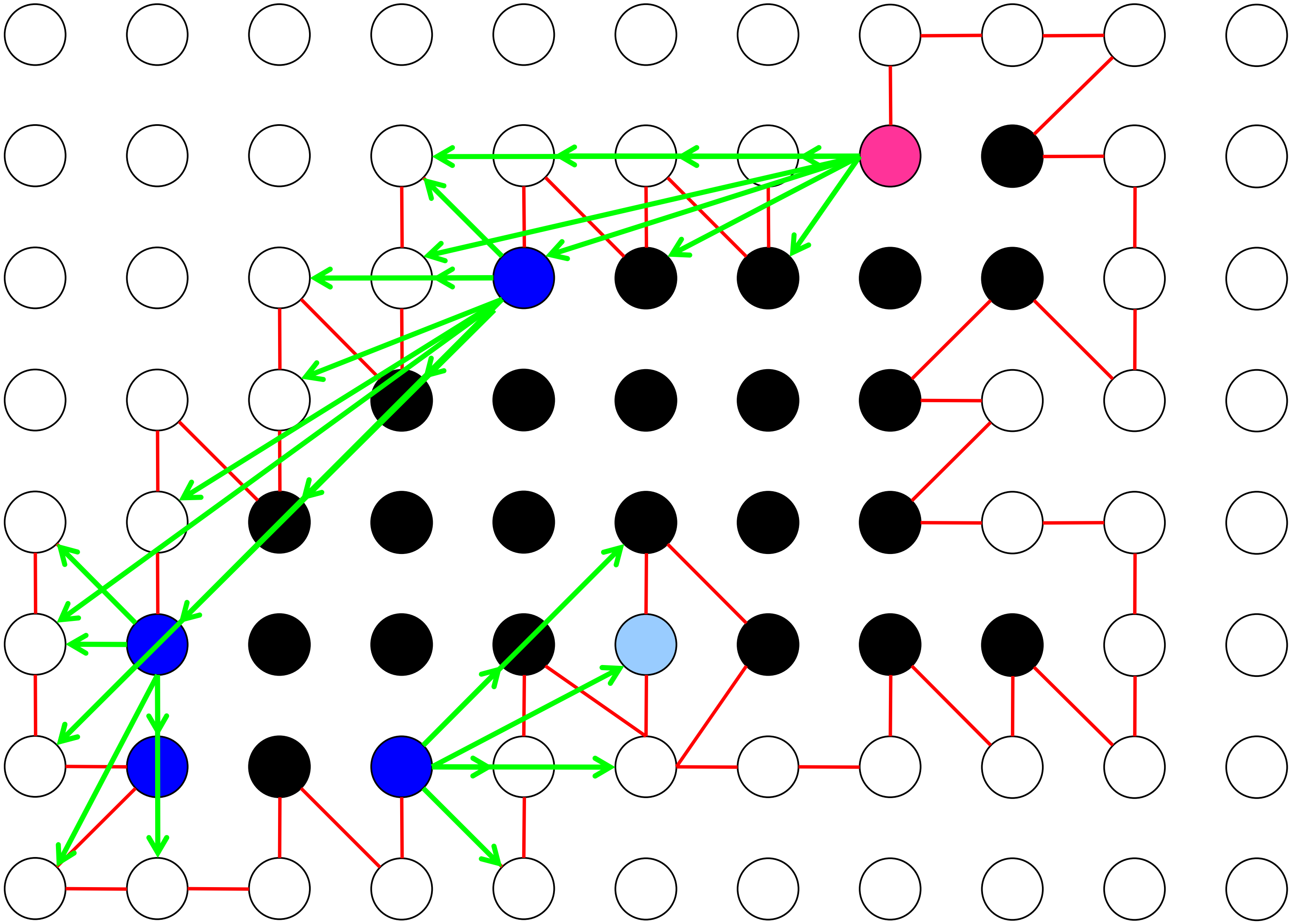
(*в*) (*г*)

Сохранение
старого сектора
обзора



(*д*) (*е*)

Вычисление угловых точек



Вычисление признаков формы по многоугольной границе

1. Длина границы (периметр)
2. Площадь фигуры
3. Округлость фигуры
4. Энергия изгиба
5. Количество углов
6. Количество отверстий
7. Признаки Фурье

Геометрические признаки

$V_0, V_1, \ldots, V_n$ - вершины многоугольника, $V_0 = V_n$,
$V_i = (x_i, y_i), \quad i = 0, \ldots, n$ - координаты вершин,

Периметр: $P = \sum_{i=1}^{n} \sqrt{(x_i - x_{i-1})^2 + (y_i - y_{i-1})^2}$

Площадь: $S = \frac{1}{2} \cdot \sum_{i=1}^{n-1} \left[(V_i - V_0) \times (V_{i+1} - V_0) \right]$,

где $[a \cdot b] = a_x \cdot b_y - a_y \cdot b_x$ - векторное произведение векторов $a = (a_x, a_y)$ и $b = (b_x, b_y)$.

Округлость: $\gamma = \frac{P^2}{4\pi \cdot S}$

Энергия изгиба: $E(n) = \frac{1}{P} \sum_{i=0}^{n-1} |k_i|^2$, $k_i = \theta_{i+1} - \theta_i$.

Признаки Фурье

Рассмотрим последовательность комплексных чисел

$u_k = x_k + i \cdot y_k$.

Для n точек u_k определим ДФП:

$$f_l = \sum_{k=0}^{N-1} u_k \exp\left(-i \cdot \frac{2\pi}{N} \cdot l \cdot k\right), l = 0,1,\ldots, N-1.$$

Получим f_l – Фурье-описание границы.

Свойства признаков Фурье

Рассмотрим, как изменяется f_l при сдвиге, повороте, масштабировании и сдвиге начальной точки.

Сдвиг описывается следующим образом: $x'_k = x_k + \Delta x$, $y'_k = y_k + \Delta y$ и $u'_k = u_k + \Delta u'$. Тогда

$$f'_l = f_l + \Delta u \delta(l), \text{ где } \delta = \begin{cases} 1, \text{ при } l = 0 \\ 0, \text{ при } l \neq 0 \end{cases}.$$

При $l = 0$ $f'_0 \neq f_0$, т.к.

$$f'_0 = f_0 + \Delta u \delta(0) = f_0 + \Delta u \neq f_0.$$

При $l \neq 0$ $f'_l = f_l$, т.к.

$$f'_l = f_l + \Delta u \delta(l) = f_l + \Delta u \cdot 0 = f_l$$

Поворот описывается следующим соотношением: $u'_k = u_k \cdot \exp(j\theta)$. Следовательно, $f'_l = f_l \cdot \exp(j\theta)$, т.е. поворот не меняет модулей, а именно $|f'_l| = |f_l|$.

Масштабирование описывается следующим соотношением: $u'_k = a \cdot u_k$. Следовательно, $f'_l = a \cdot f_l$. Т.к.

$$\frac{f'_i}{f_i} = a \text{ и } \frac{f'_j}{f_j} = a,$$

то масштабирование не меняет соотношения

$$\frac{f'_i}{f'_j} = \frac{f_i}{f_j}.$$

Сдвиг начальной точки определяется следующим образом: $u'_k = u_{k-k_0}$.

Следовательно $f'_l = f_l \cdot \exp\left(-j \cdot \frac{2\pi}{N} \cdot k_0 \cdot l\right)$,

т.е. сдвиг начальной точки сохраняет модули: $|f'_l| = |f_l|$.