

# ОБРАБОТКА И РАСПОЗНАВАНИЕ ИЗОБРАЖЕНИЙ

Леонид Моисеевич Местецкий  
профессор

кафедра математических методов  
прогнозирования ВМК МГУ

кафедра интеллектуальных систем МФТИ

# Поиск и прослеживание границ объектов на изображениях

Граничное представление формы объектов,  
отслеживание и аппроксимация границ  
цифрового изображения

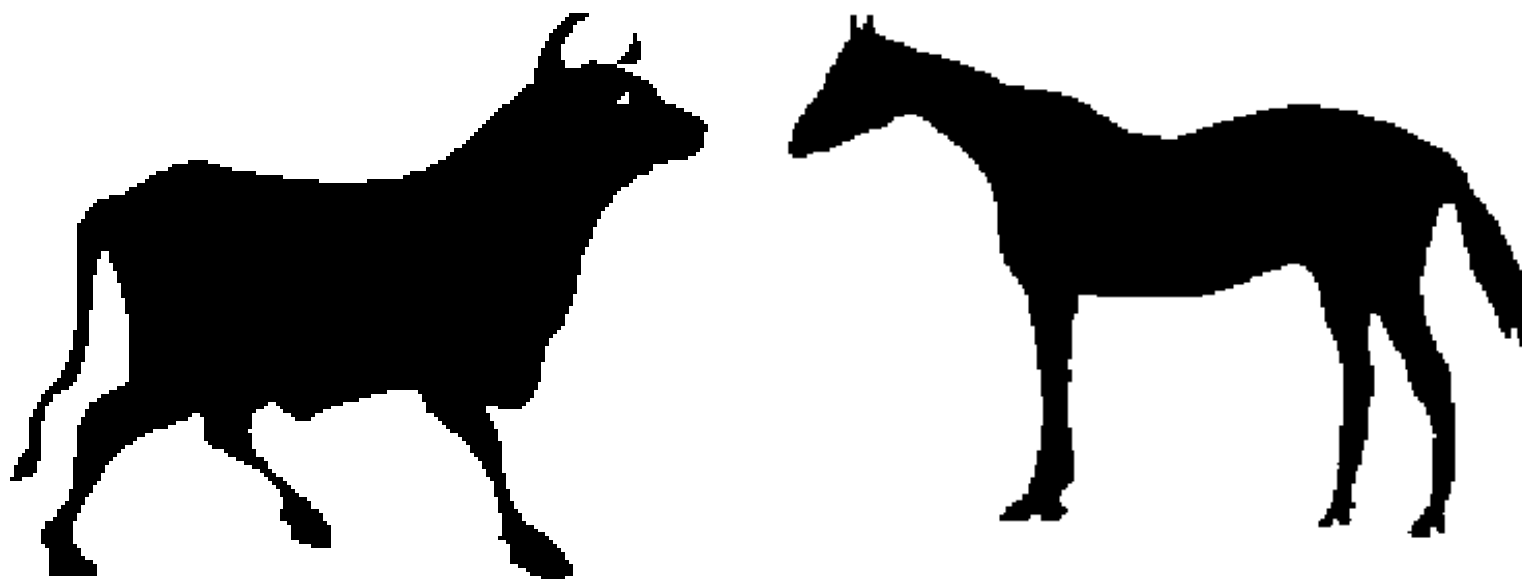
# Генерация признаков формы на основе анализа границ

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

# Форма объекта

Термин форма обычно используется для обозначения внешности объекта или его внешней границы (контур, внешняя поверхность), в отличие от других свойств, таких как цвет, текстура, состав материала.

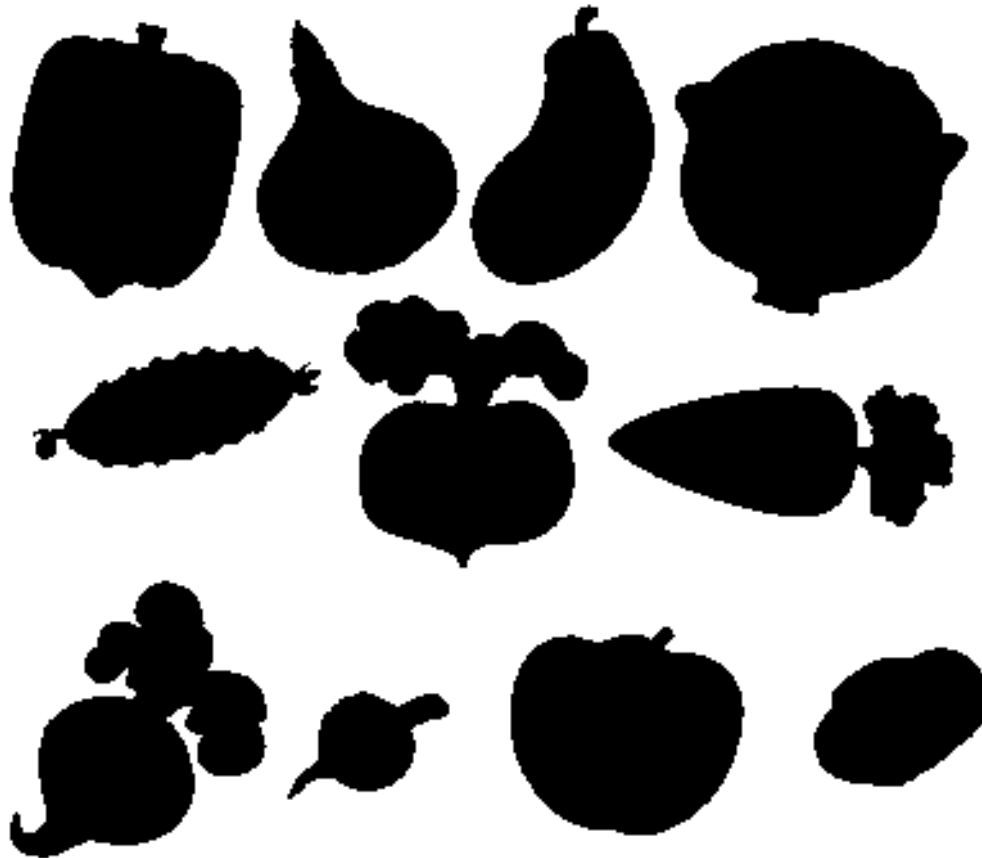
# Распознавание формы



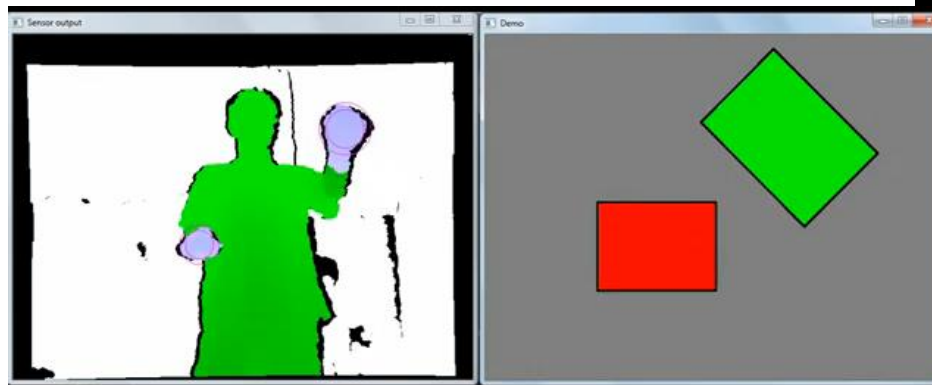
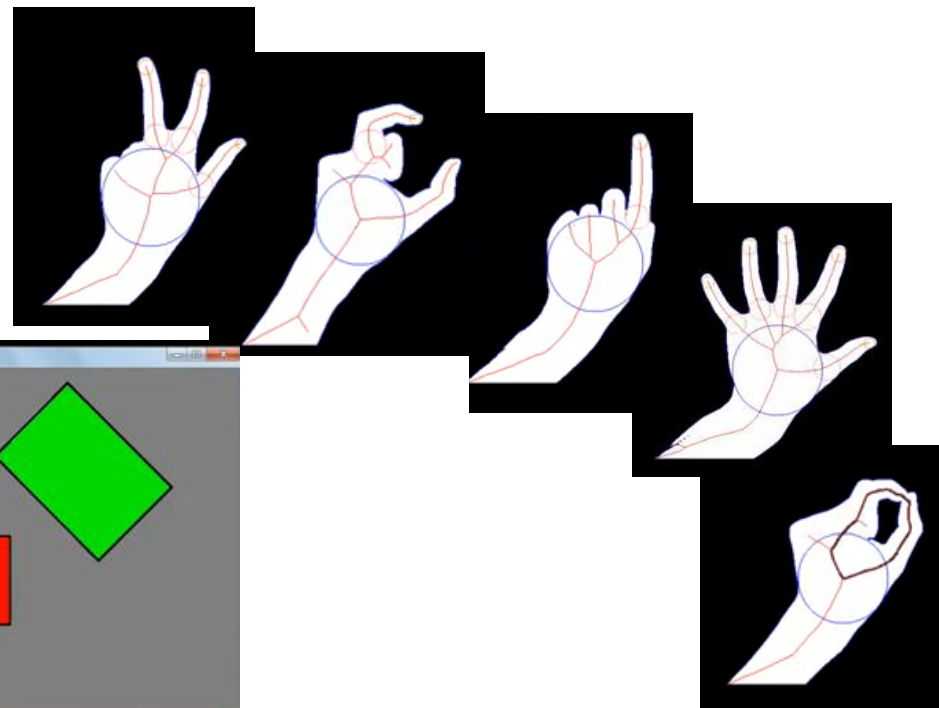
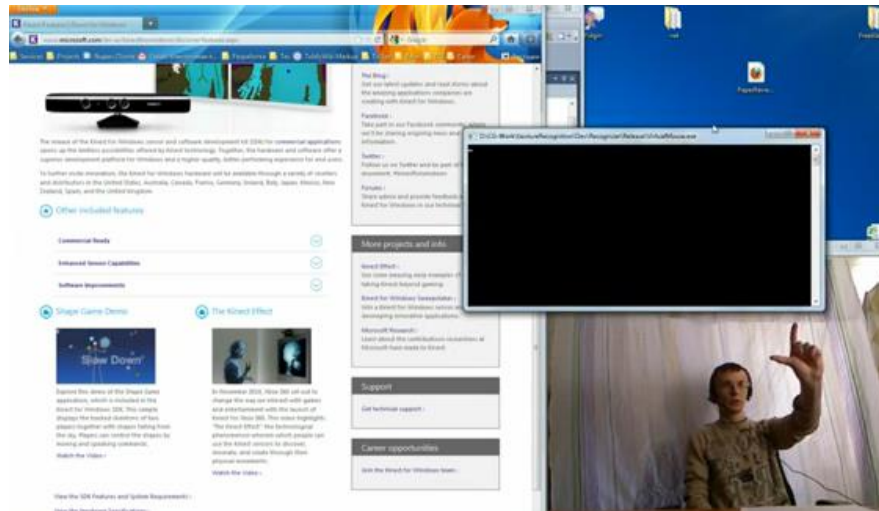
# Распознавание формы



# Распознавание формы



# Пример управления компьютером жестами на основе анализа формы



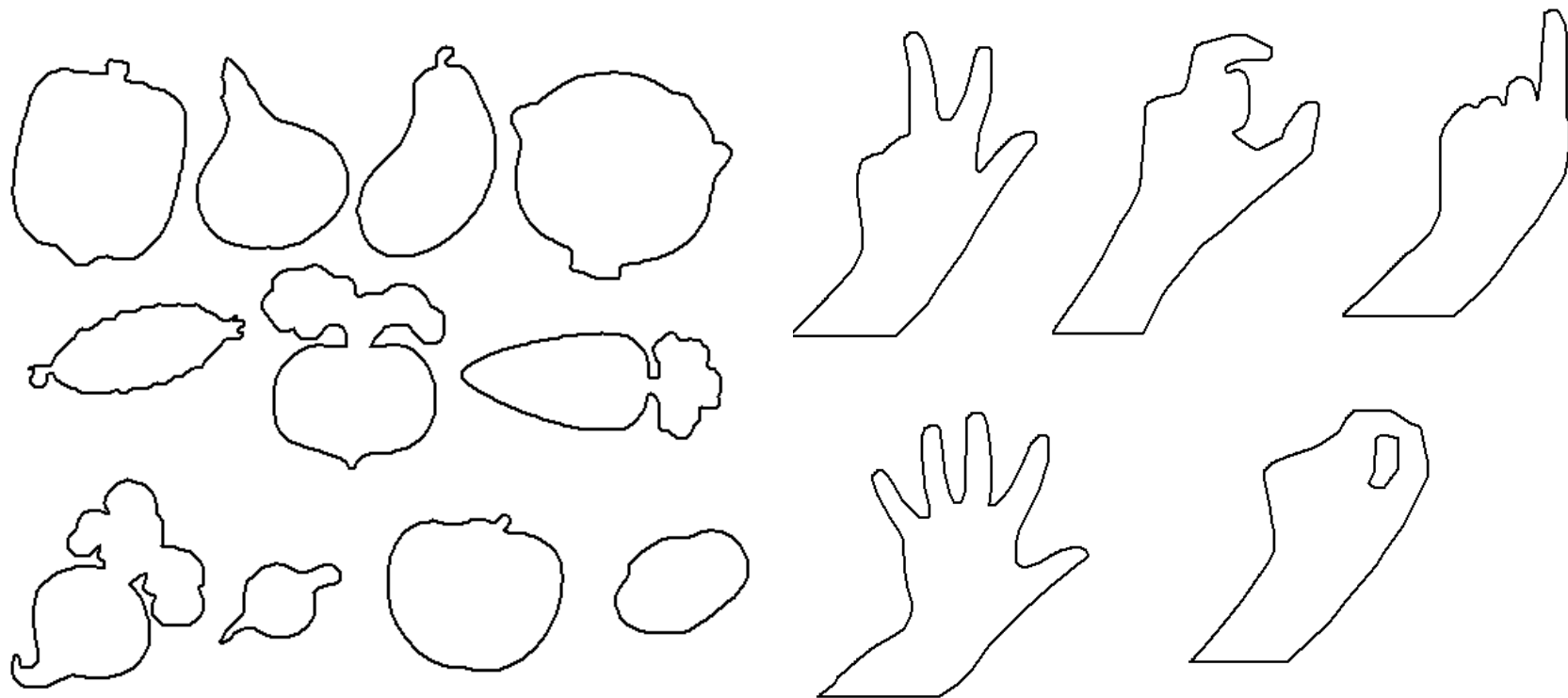
**GestureDemo-2**



# Бинарные изображения ладони



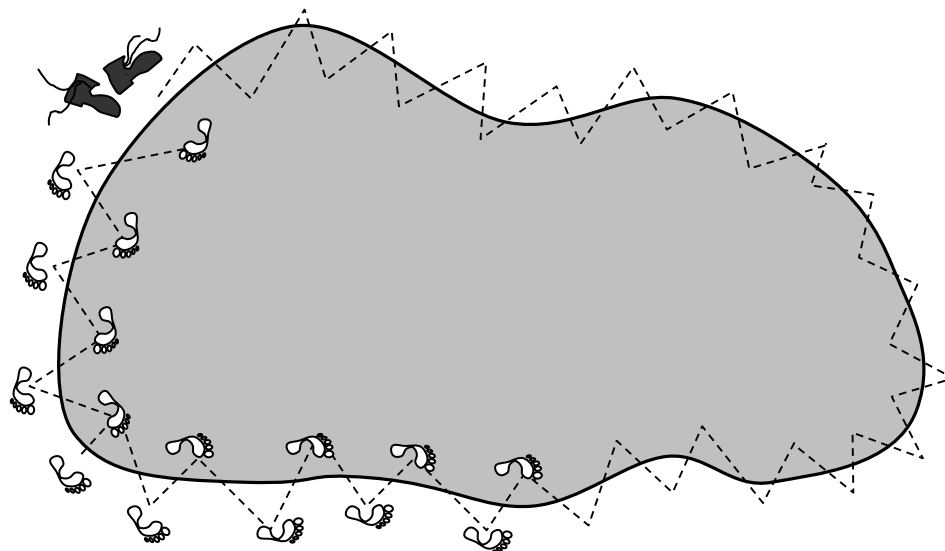
# Проблема построения границ объекта



Что считается границей объекта на цифровом изображении?

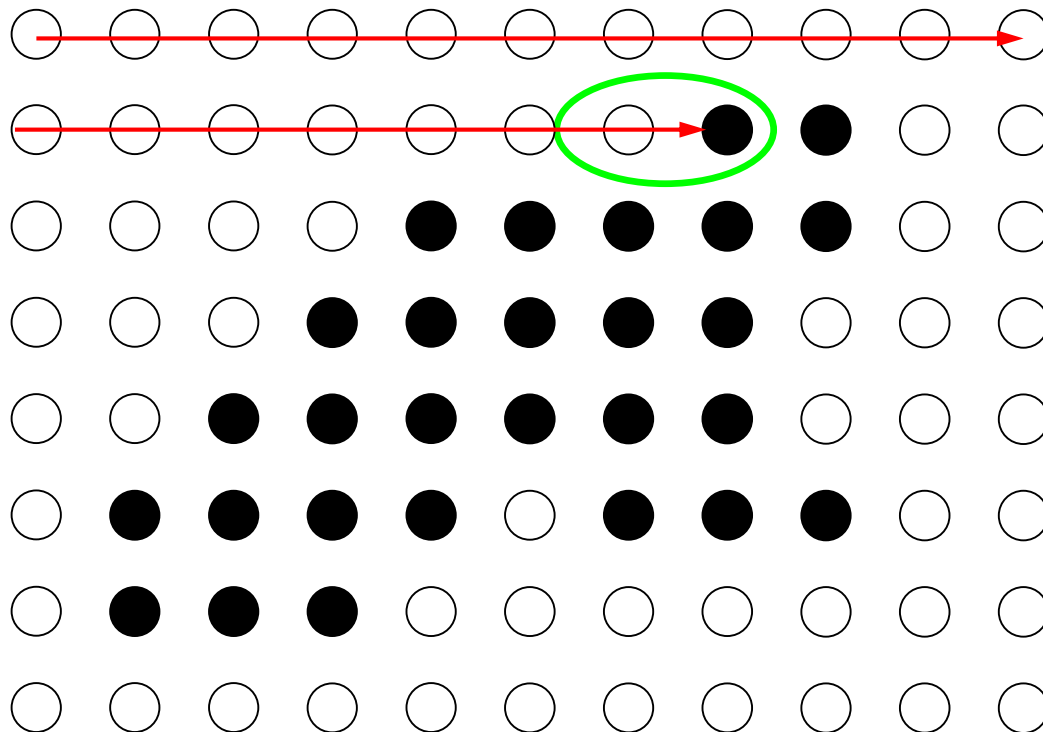
**Demo - Tracer**

# Построение границы на основе трассировки границ объекта

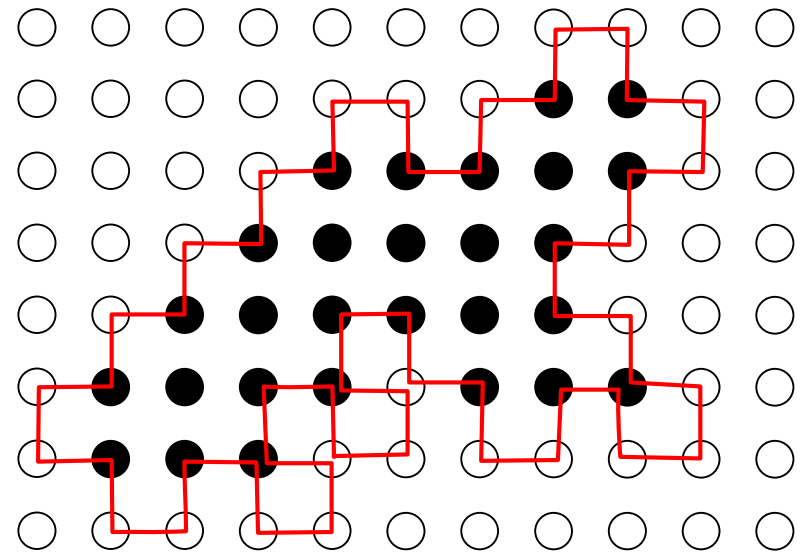
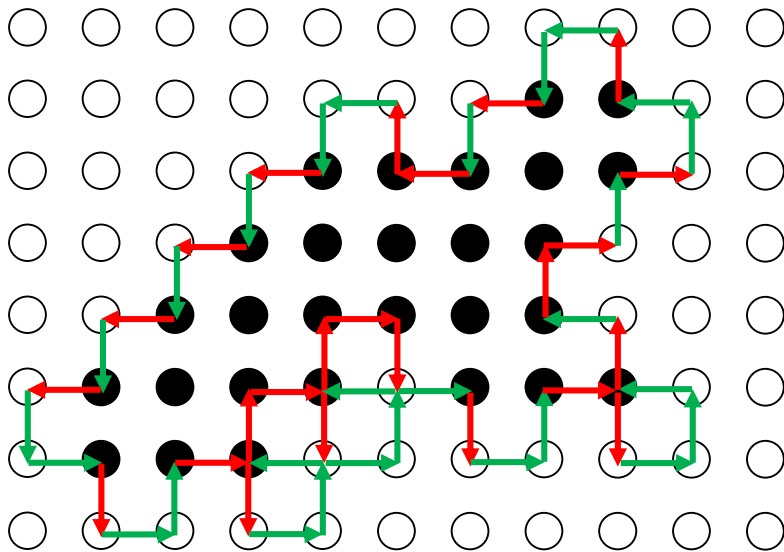


Трассировка границы объекта может быть представлено как прогулка вокруг лужи.

# Поиск начальной пары разноцветных пикселей

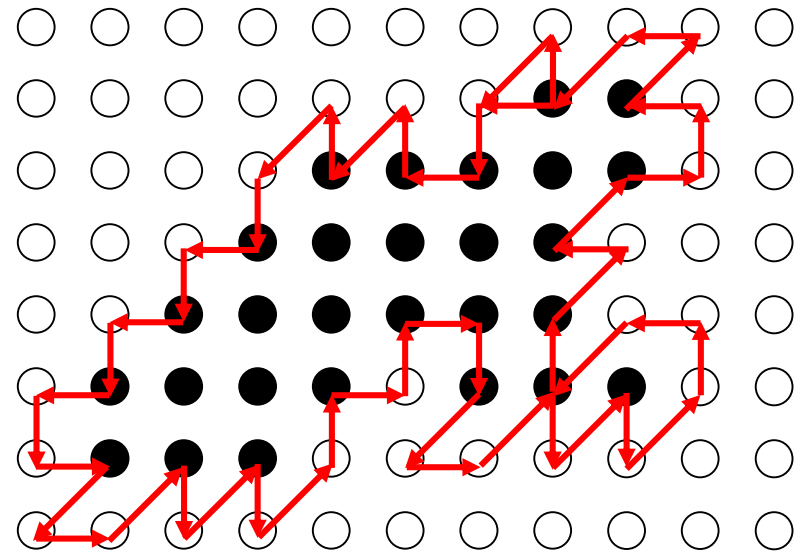
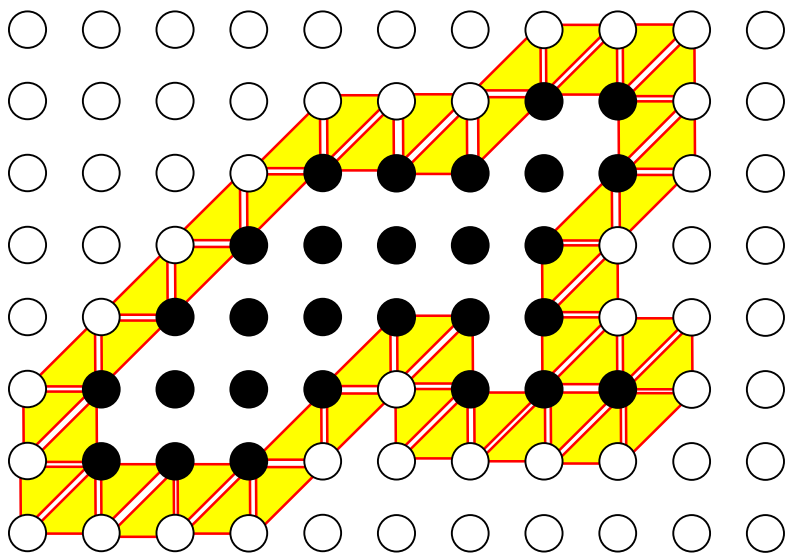


# Обход методом ползущего жука



В чёрных точках поворот направо, в белых - налево  
52 шага = 28 налево + 24 направо

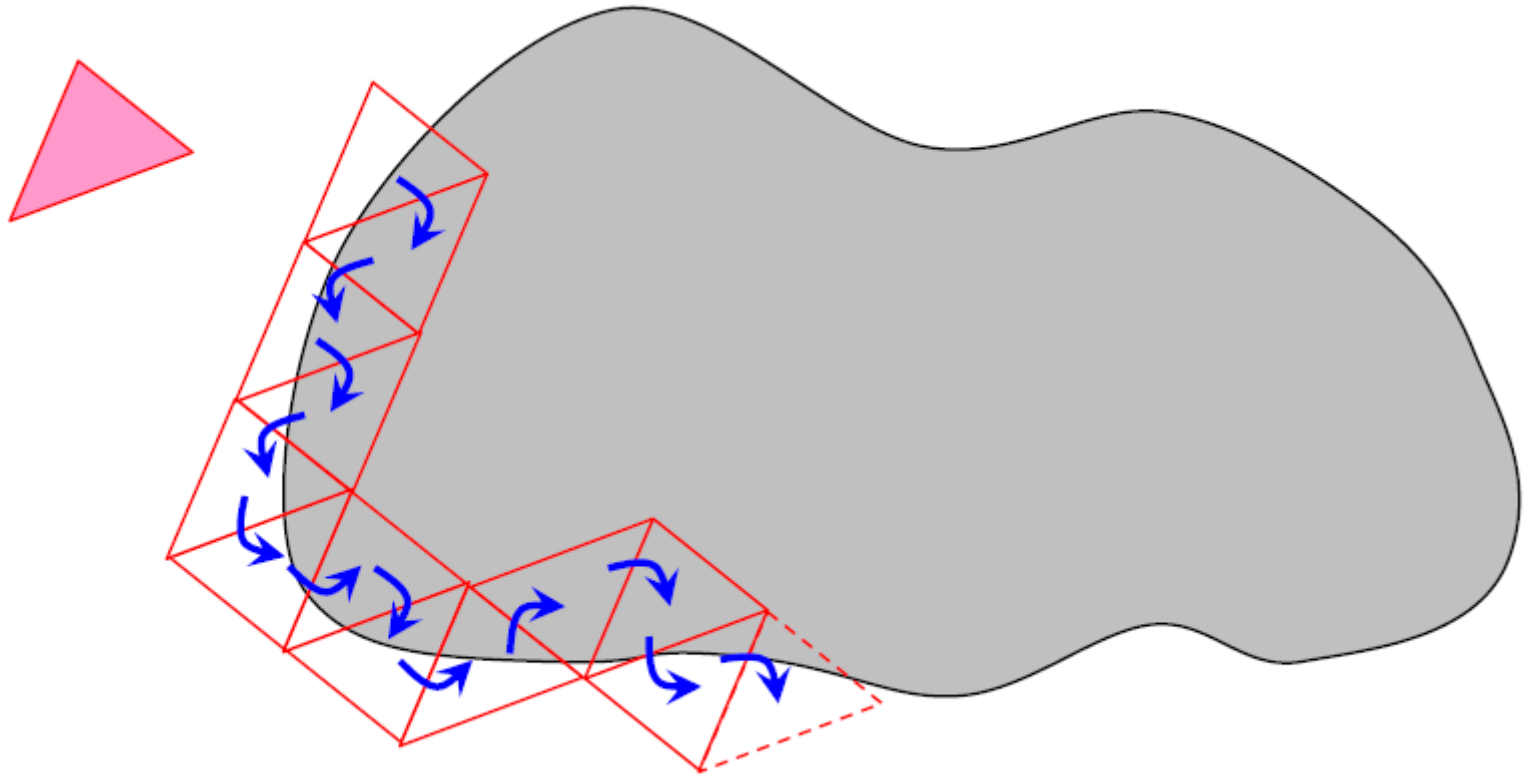
# Обход катящимся треугольником (симлекс-прослеживание)



На каждом шаге – переворот треугольника

51 шаг

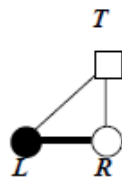
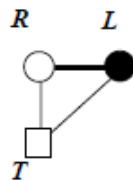
# Симплексное прослеживание



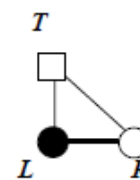
Прослеживание катящимся треугольником (симплексом)

# 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

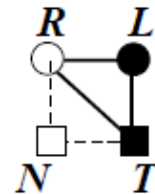
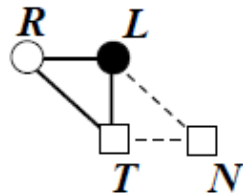
Для диагонального направления:  $T.x = R.x, \quad T.y = R.y + (R.x - L.x),$

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.



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

# Новое положение треугольника

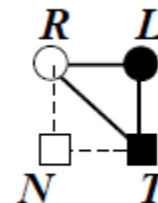
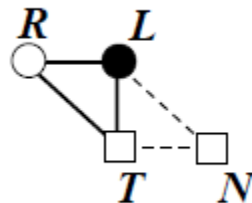
$(L_m, R_m, T_m)$  - треугольник на шаге  $m$ ,

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

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

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

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



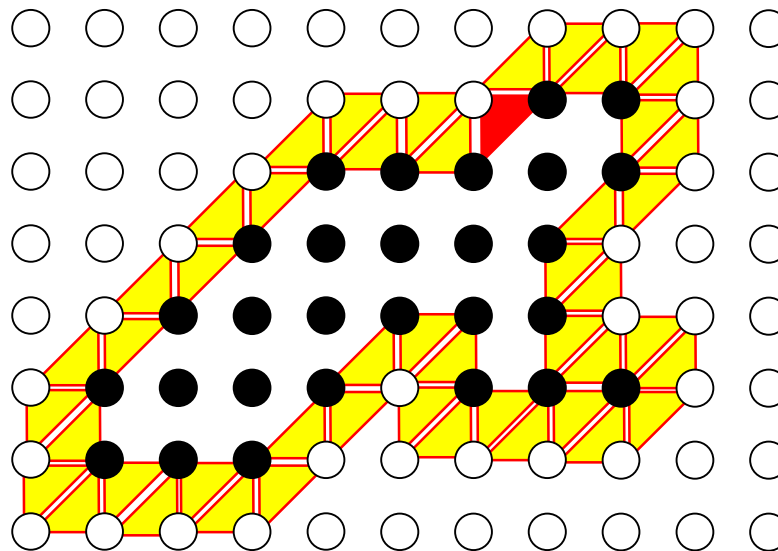
# Условие завершения обхода

Условие завершения процесса прослеживания:

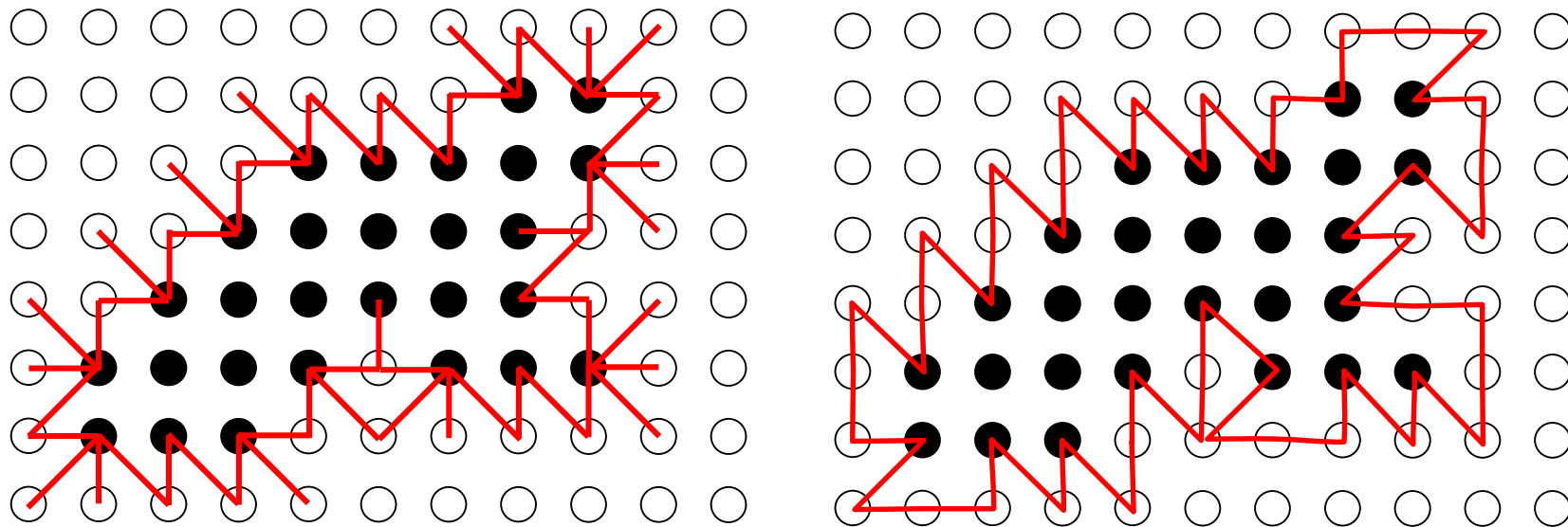
совпадение вновь образованного треугольника

$(L_{m+1}, R_{m+1}, T_{m+1})$  с начальным треугольником

$(L_0, R_0, T_0)$ , т.е.  $L_{m+1} = L_0$ ,  $R_{m+1} = R_0$ ,  $T_{m+1} = T_0$ .



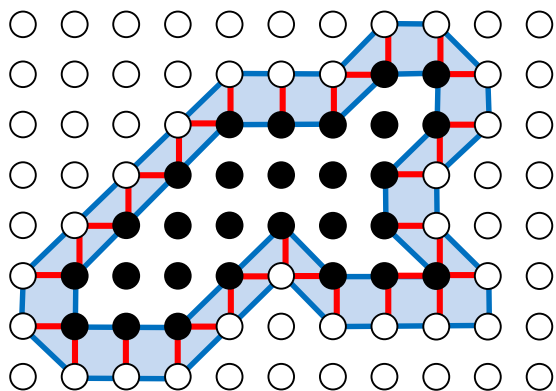
# Обход подвижным мостом



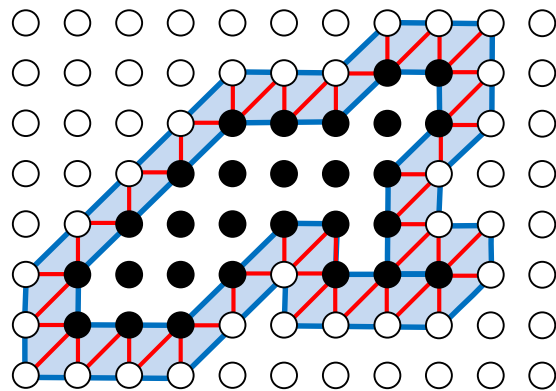
Каждая итерация – сначала шаг правой ногой, а затем, возможно, шаг левой ногой

55 шагов

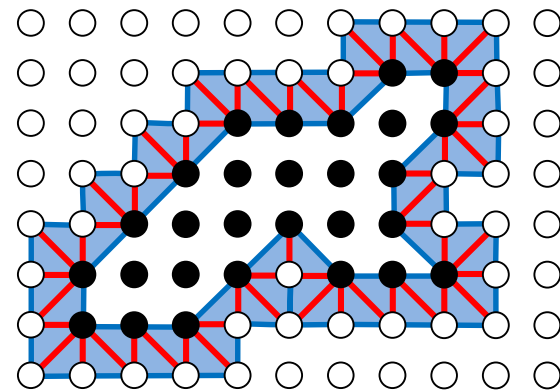
# Получение граничного коридора



# Ползущий жук



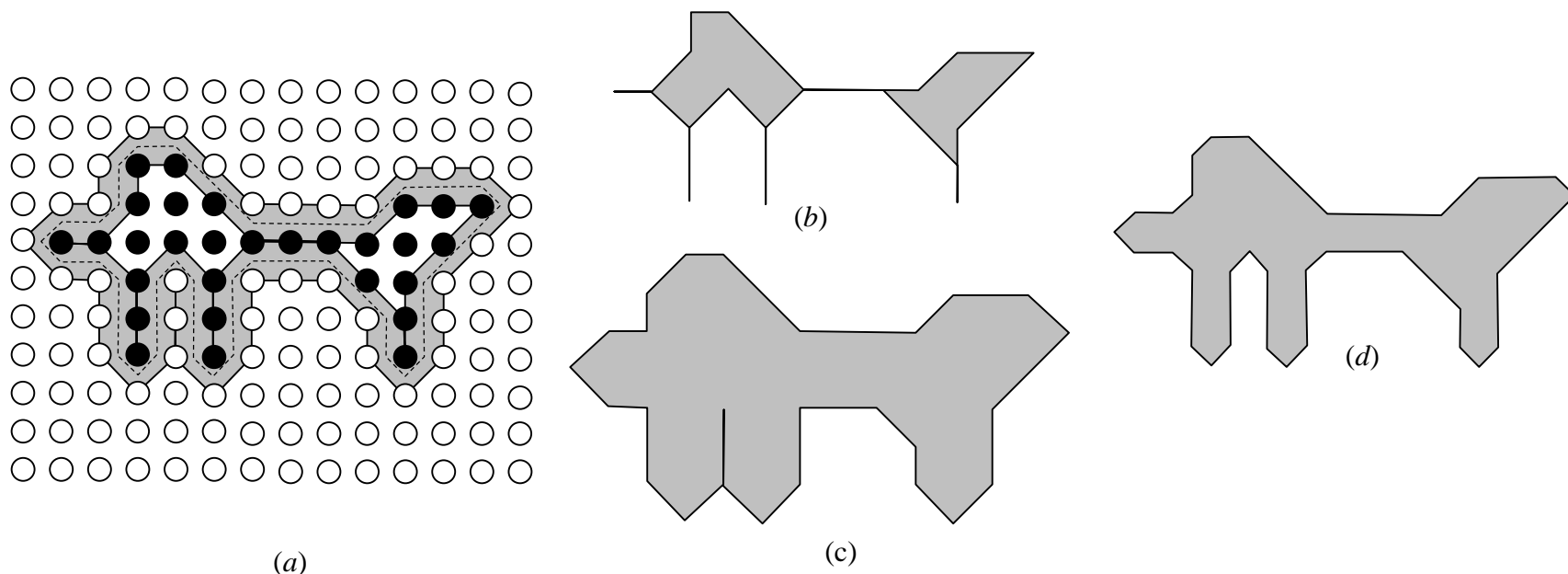
# Катящийся симплекс



# Подвижный мост

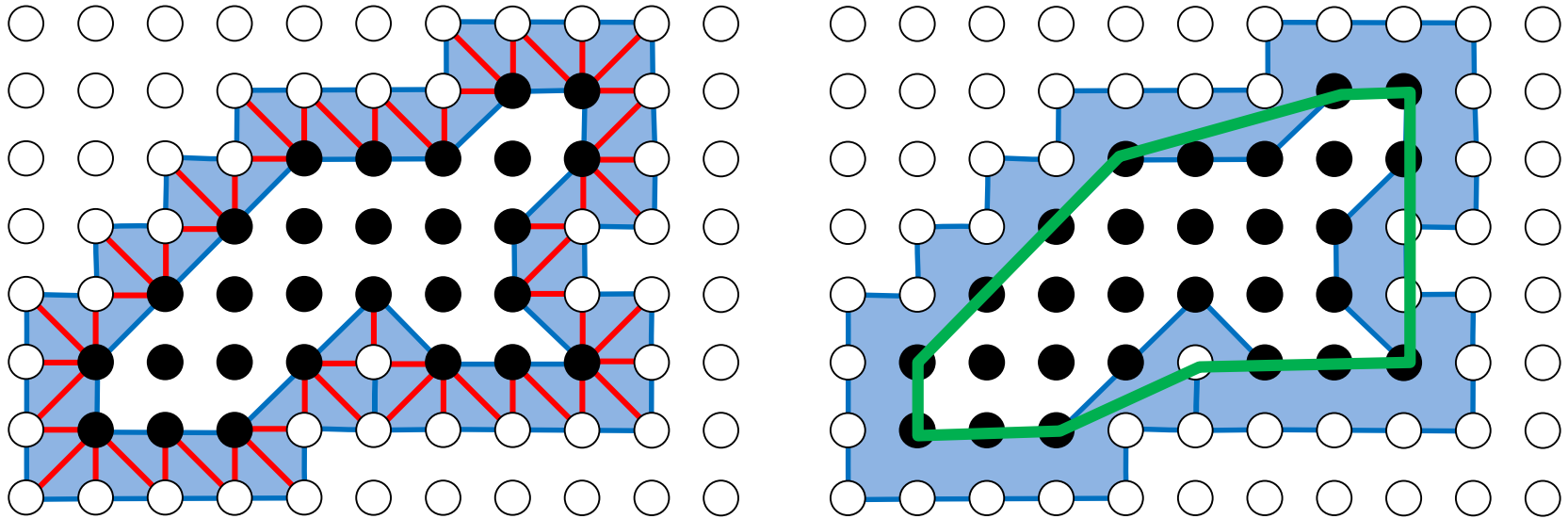
Белая и черная границы коридора могут рассматриваться как граница объекта

# Аппроксимация границы многоугольником



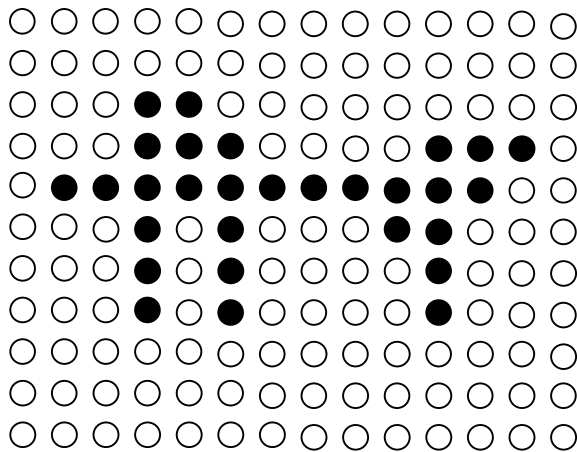
- аппроксимация внутренней (b) или внешней (c) стенок граничного коридора
- аппроксимация средней линией граничного коридора (d)

# Кратчайший путь в коридоре

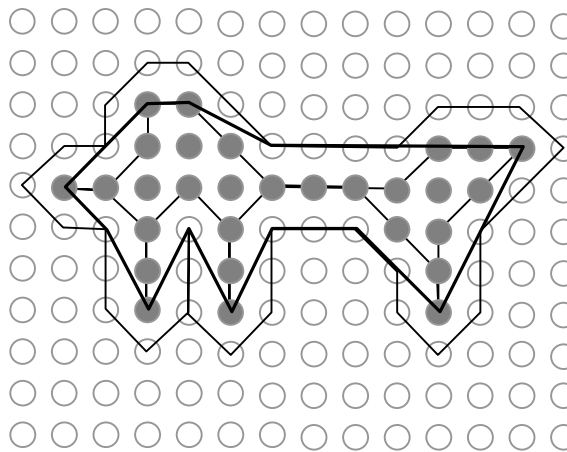


Кратчайший путь – резиновая замкнутая нить, лежащая внутри коридора, обозначенного черными и белыми гвоздями

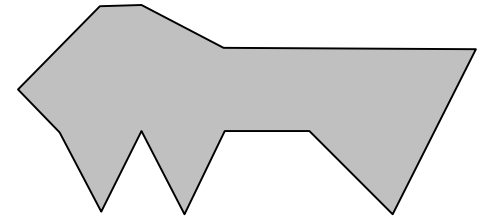
# Аппроксимация многоугольником минимального периметра



(a)



(b)



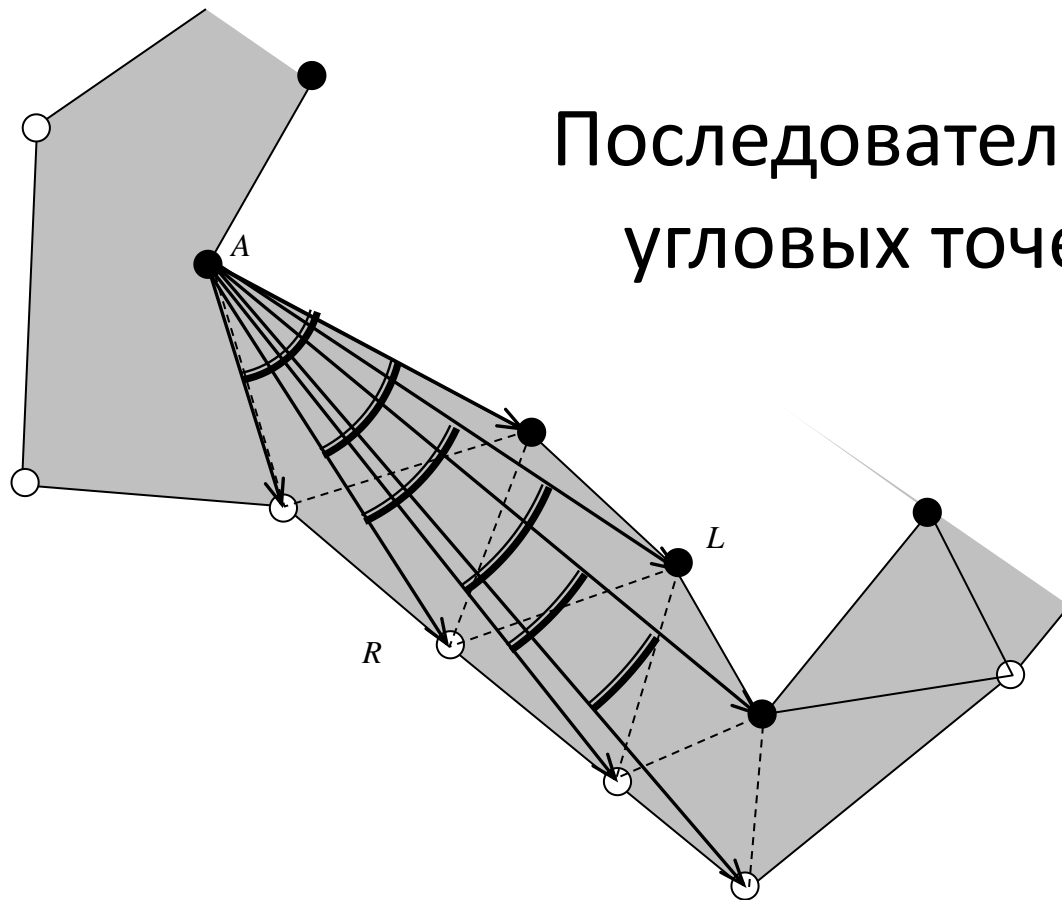
(c)

Геодезический маршрут внутри граничного коридора

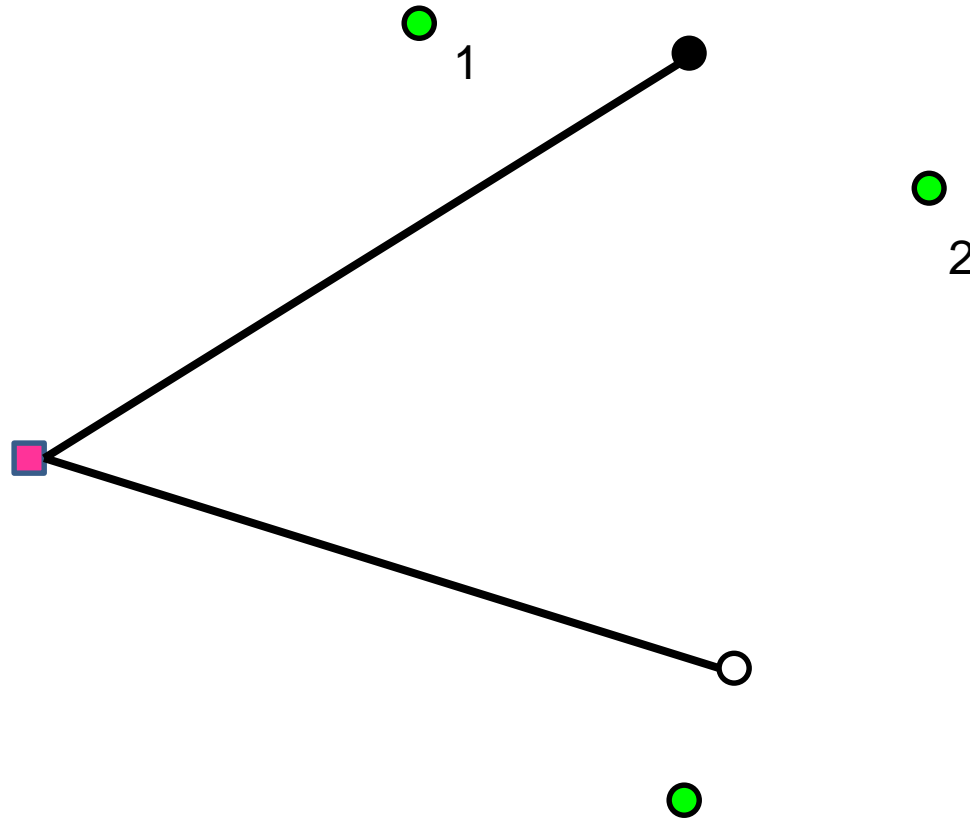


# Угловые точки и секторы обзора

Последовательный выбор  
угловых точек



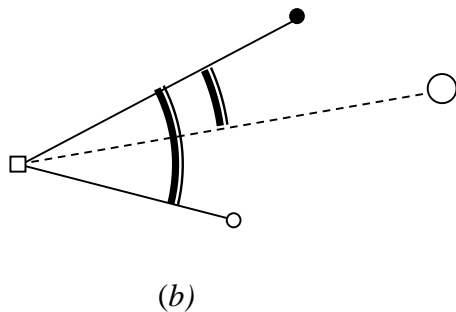
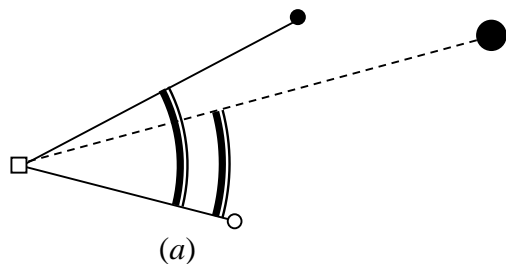
# Положение точки относительно сектора обзора



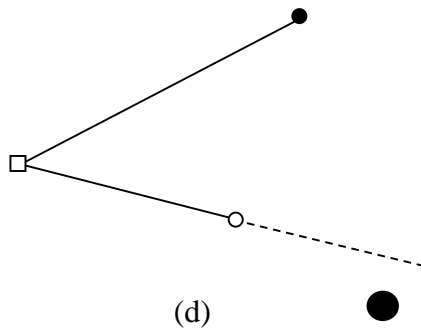
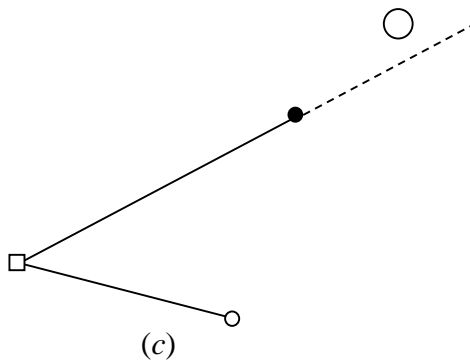
Точка лежит внутри, слева или справа относительно сектора обзора

# Правило коррекции сектора обзора

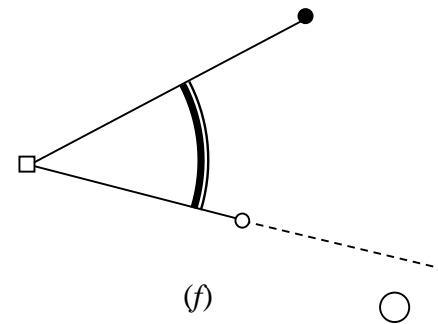
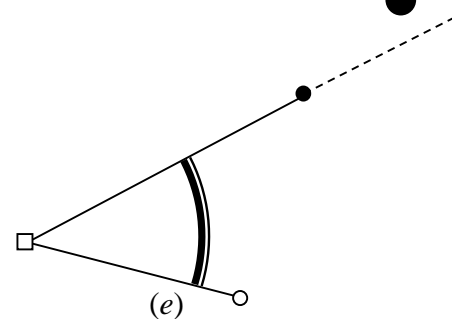
Изменение границ сектора



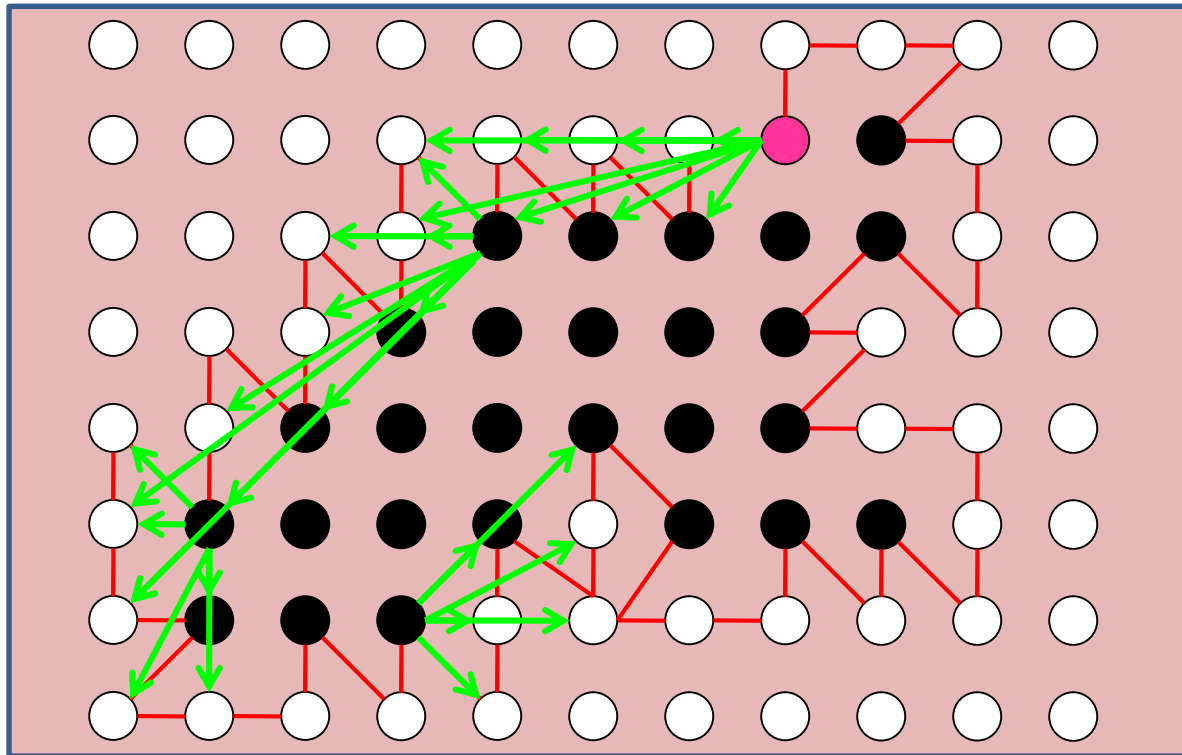
Новая угловая точка



Нет коррекции и новой угловой точки

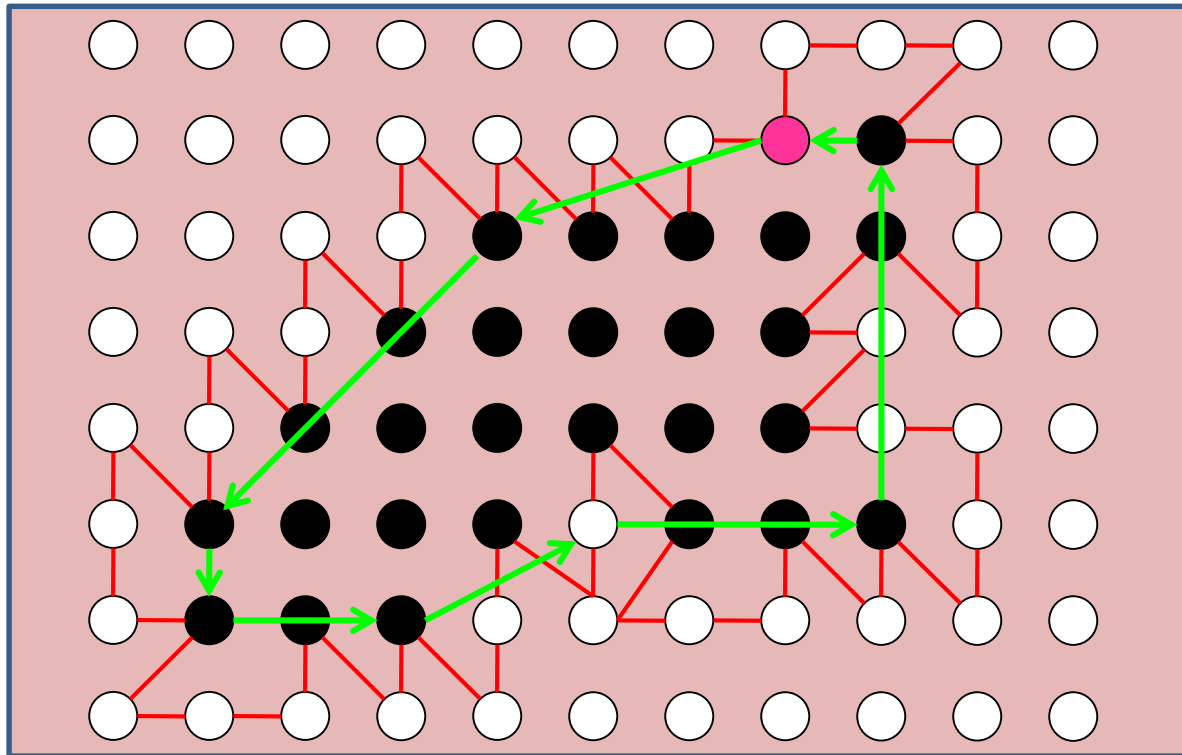


# Алгоритм вытягивания нити

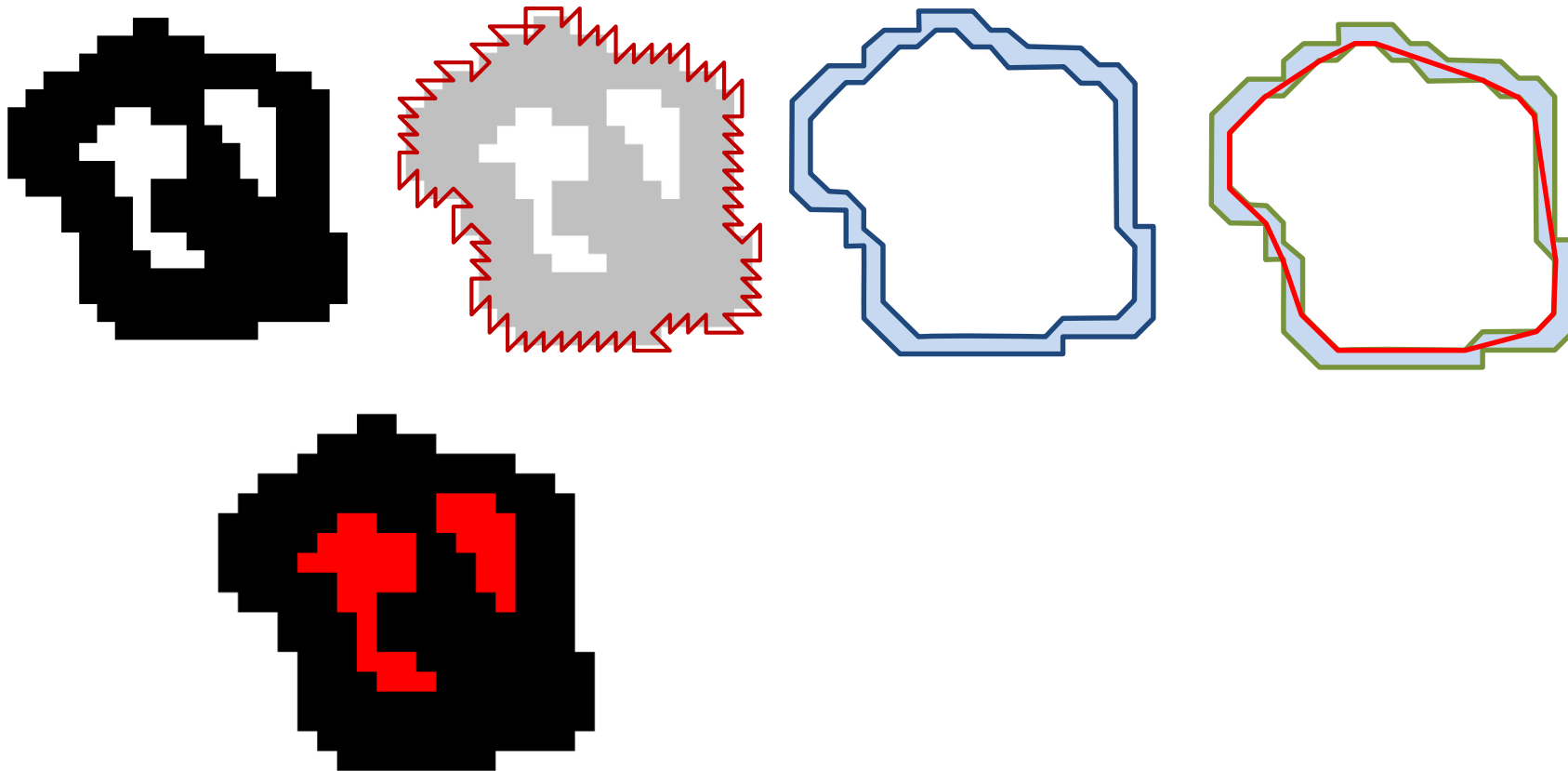


и т.д.

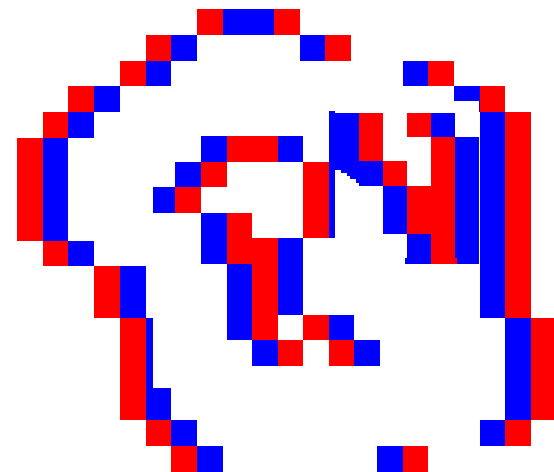
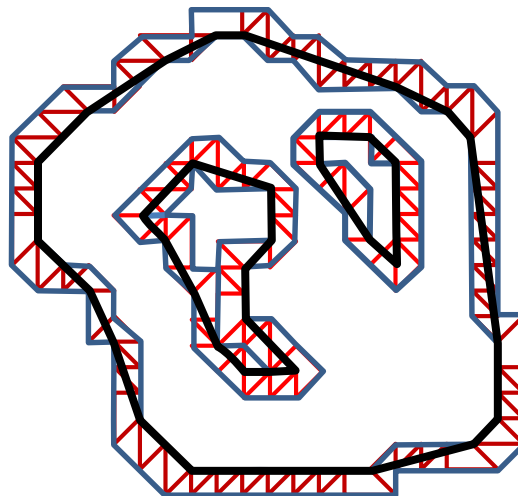
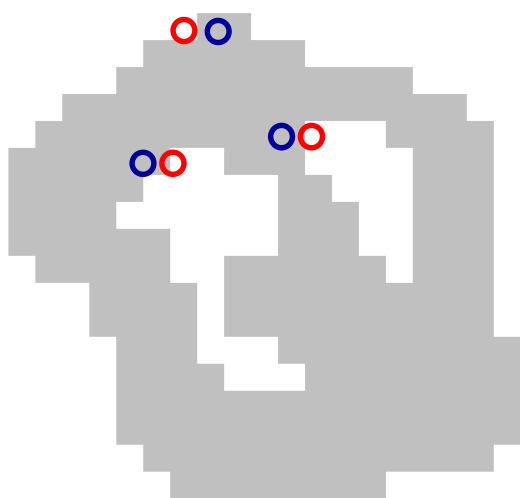
# Алгоритм вытягивания нити - результат



# Как построить все контура границы?



# Последовательный поиск и прослеживание контуров границы



- При трассировке контура необходимо пометить все горизонтальные разноцветные граничные пары
- Поиск нового контура - это поиск разноцветной пары, в которой хотя бы один пиксель не помечен

# Основные свойства минимальных разделяющих многоугольников

- Математическая корректность
- Возможность настройки на заданные требования по точности аппроксимации
- Высокая вычислительная эффективность



# Преимущества метода

- В результате отслеживания мы получаем последовательность граничных точек, которые перечислены в порядке обхода
- Полученная последовательность точек может быть аппроксимирована многоугольником
- Аппроксимация границы разделяющими многоугольниками минимального периметра гарантирует отсутствие пересечений и самопересечений многоугольников

**Demo - Tracer**

# Генерация признаков формы по многоугольной границе

- Длина границы (периметр)
- Площадь фигуры
- Округлость фигуры
- Энергия изгиба
- Количество углов
- Количество отверстий
- Дескриптор Фурье

# Геометрические признаки

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

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

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

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

# Дескриптор Фурье

Рассмотрим последовательность комплексных чисел

$$u_k = x_k + i \cdot y_k.$$

Для  $n$  точек  $u_k$  определим ДФП:

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

Получим  $f_l$  – Фурье-описание границы.

# Свойства дескриптора 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.

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

# Свойства дескриптора Фурье

**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

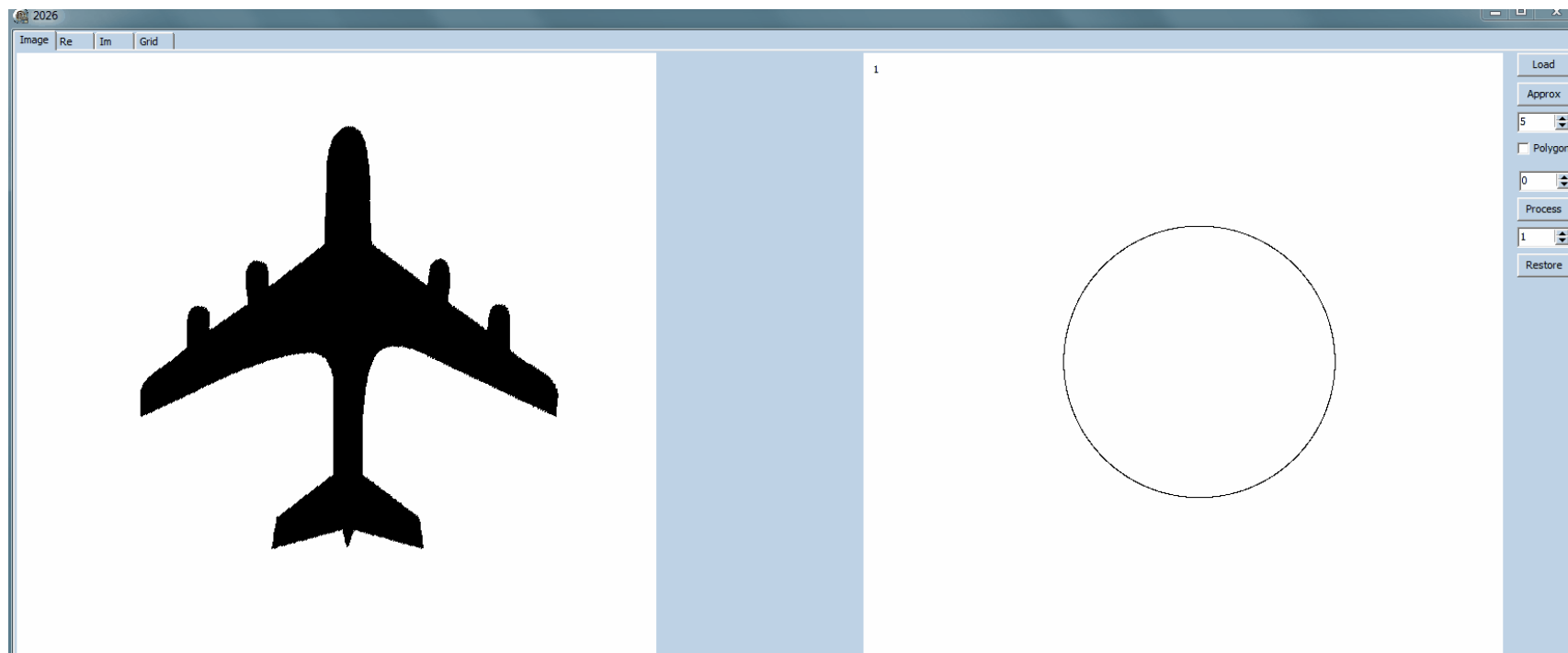
$$\frac{f'_i}{f'_j} = \frac{f_i}{f_j}.$$

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

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

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

# Восстановление границы по дескриптору Фурье



- Слева – исходное изображение
- Справа – результат восстановления границы по дескриптору Фурье
- В окошке – количество использованных коэффициентов Фурье

# Зависимость точности восстановления от количества коэффициентов Фурье

