

# Разметка и распознавание изображений самолетов на аэрокосмических снимках

Местецкий Л.М.

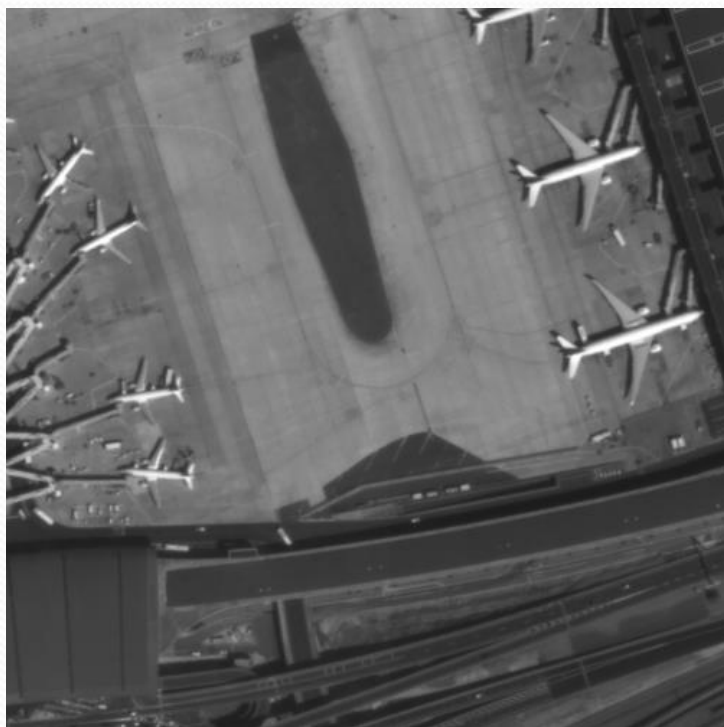
МГУ имени М.В. Ломоносова

Факультет вычислительной математики и кибернетики

# Задачи поиска и классификации объектов на аэрокосмических снимках



# Задача поиска - локализации объектов



Определение положения объектов  
на аэрокосмических снимках

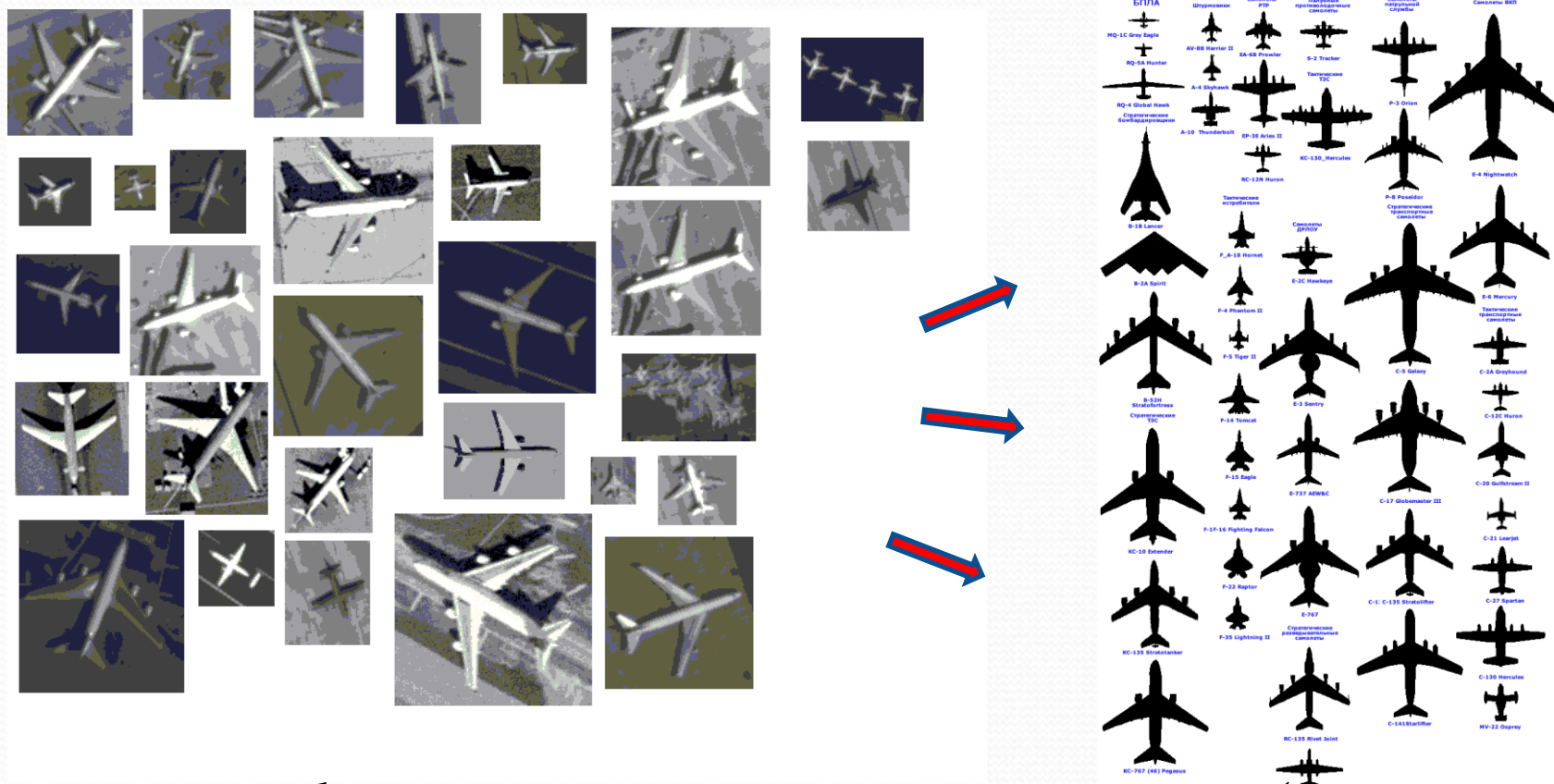


# Задача определения ориентации объектов на аэрокосмических снимках



Определение ориентации объектов (нос-хвост)

# Задача классификации объектов на аэрокосмических снимках



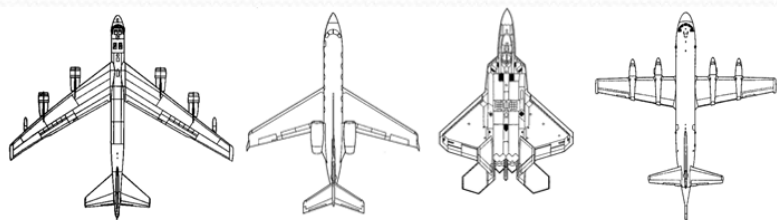
Классификация – распознавание типа объекта

# Теория и методы решения задач

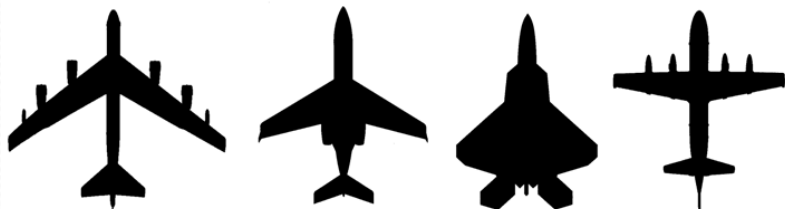
Задачи	Подзадачи	Методы
Создание базы эталонов по образцам авиационной техники	Сбор и анализ данных рекламной и конструкторской документации	Аналитическое исследование Непрерывная морфология
Локализация объектов на аэрокосмических снимках	Построение и обучение глубоких сверточных нейросетей	Машинное обучение
	Разметка данных для обучения нейросетей	Непрерывная морфология
Классификация объектов на аэрокосмических снимках	Генерации признаков формы объектов	Непрерывная морфология
	Разработка метрик сходства объектов	Непрерывная морфология



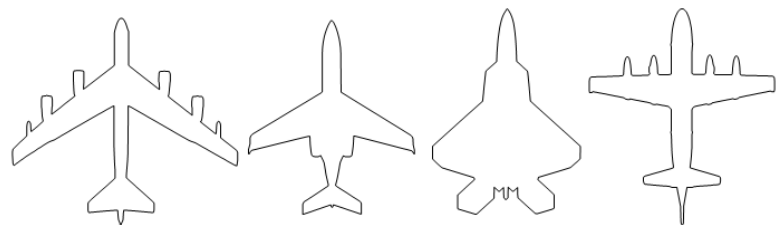
# Метод построения эталонных шаблонов авиационной техники



а)



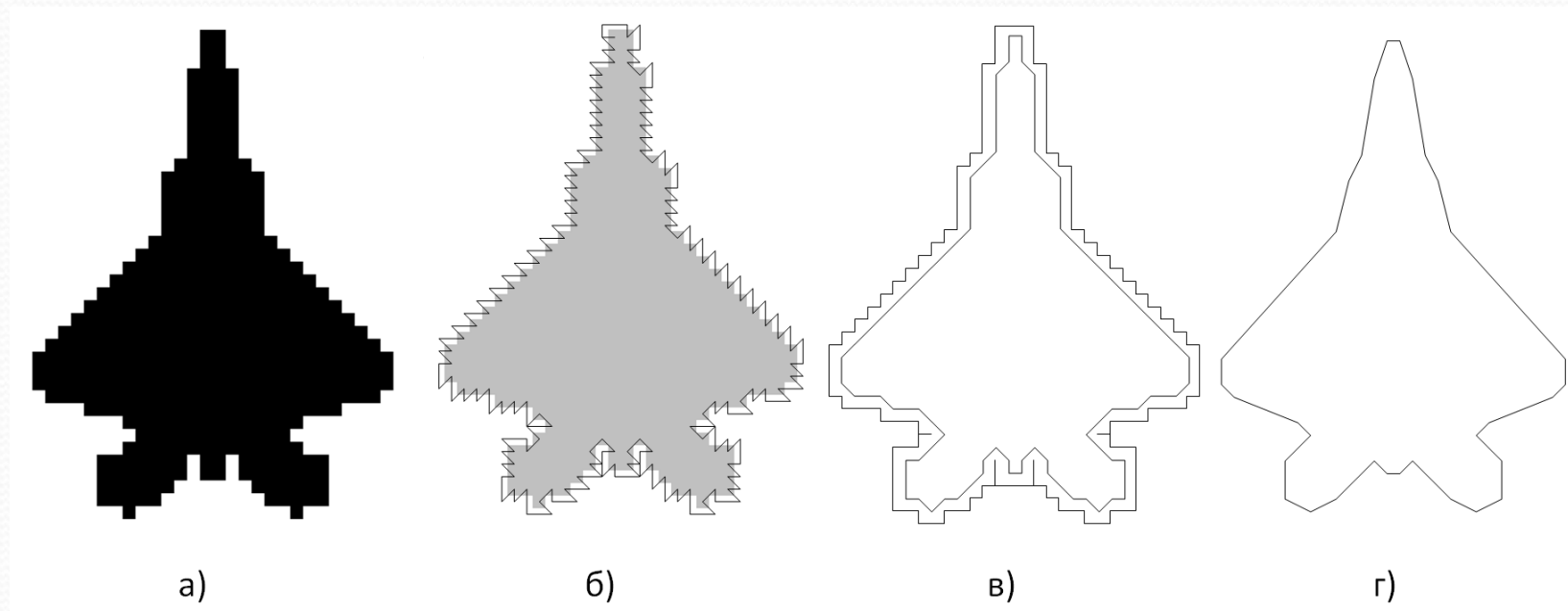
б)



в)

- а) чертежи самолетов из технической документации
- б) растровые бинарные изображения силуэтов самолетов в высоком разрешении
- в) векторные описания силуэтов самолетов в виде многоугольников

# Построение контурной модели объекта

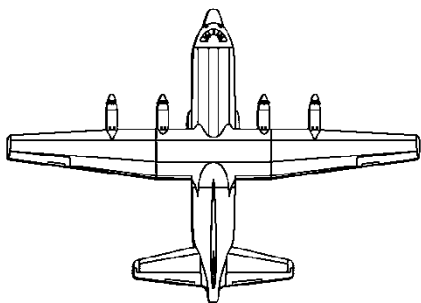


- а) растровое бинарное изображение,
- б) след трассировки границы,
- в) граничный коридор,
- г) аппроксимирующий многоугольник минимального периметра



# Дискретные и непрерывные морфологические модели эталонов

## Дискретные модели

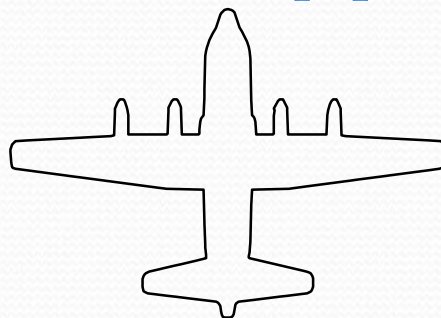


Эталонное растровое изображение

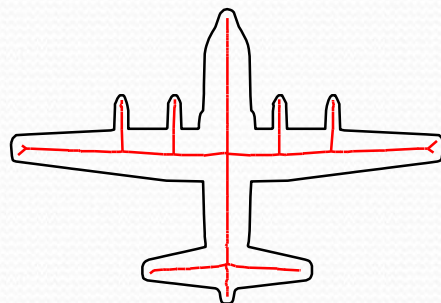


Силуэт - бинарное растровое изображение

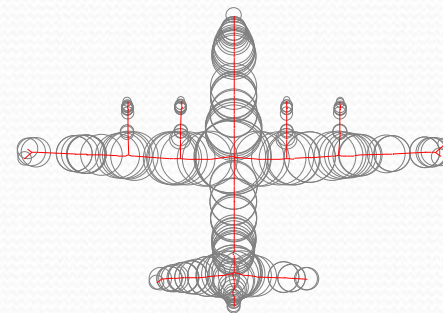
## Непрерывные модели



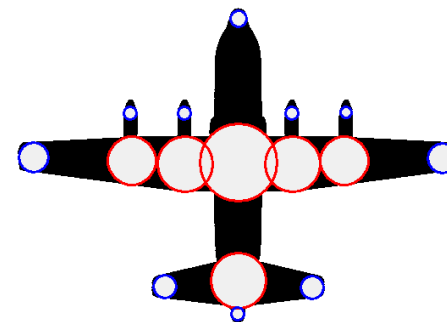
Многоугольный контур - векторная модель границы



Скелет - плоский геометрический граф серединных осей

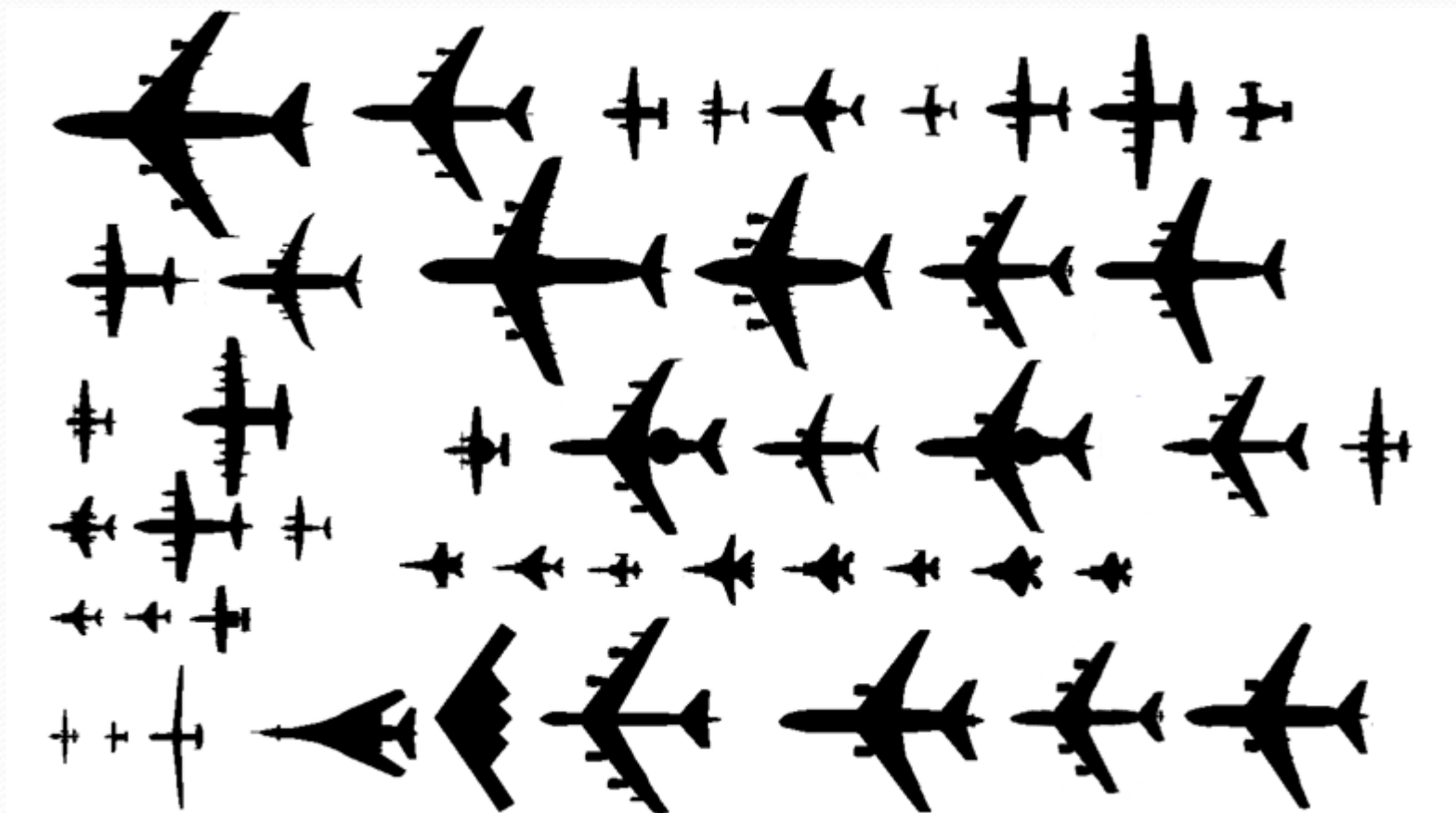


Медиальное представление - скелет и радиальная функция



Ключевые опорные диски объекта

# База данных по эталонным образцам авиационной техники



# Применение морфологических моделей при решении задач дешифрирования аэрокосмических снимков

1. Задача автоматизации разметки объектов в обучающем наборе изображений для автоматической сегментации авиационной техники
2. Задача автоматической классификации объектов авиационной техники



# Задача разметки изображений на аэрокосмических снимках

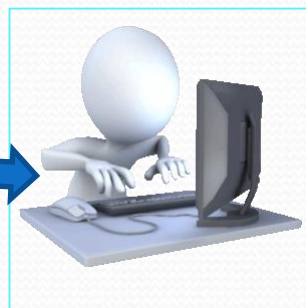


Фрагменты исходных аэрокосмических снимков (верхний ряд) и размеченные изображения объектов (нижний ряд)

# Метод разметки изображений с помощью контурной модели



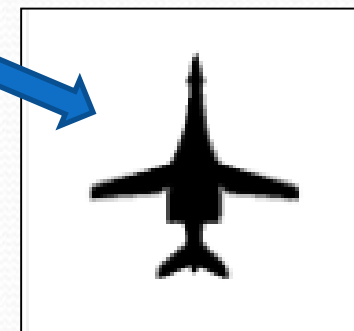
База исходных образцов – изображения объектов на аэрокосмических снимках



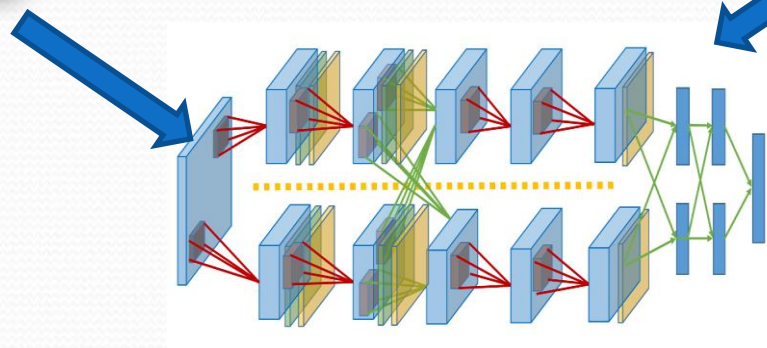
Ассессор – оператор разметки изображений



Операция подгонки эталона к исходному образцу



Размеченный образец помещается в обучающую выборку для тренировки нейронной сети

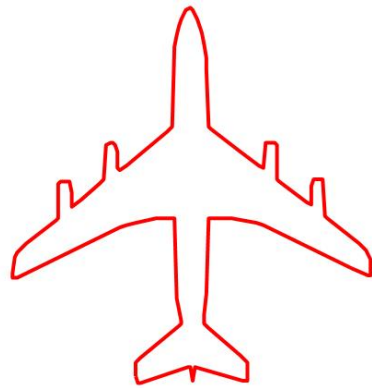




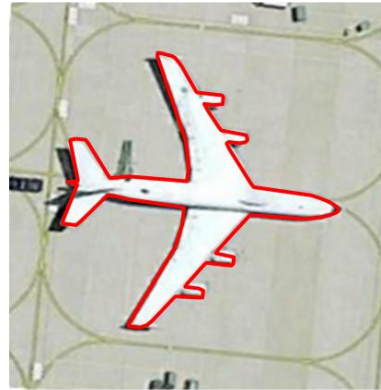
# Подгонка векторного шаблона



а)



б)



в)

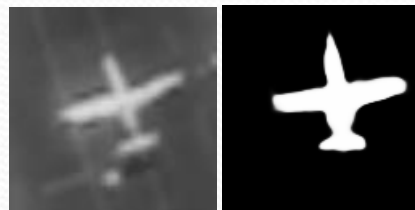
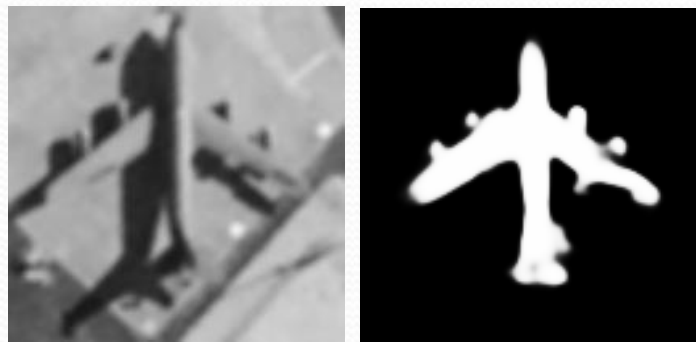
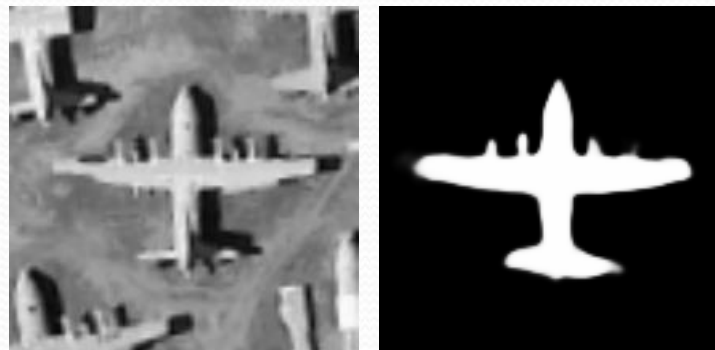
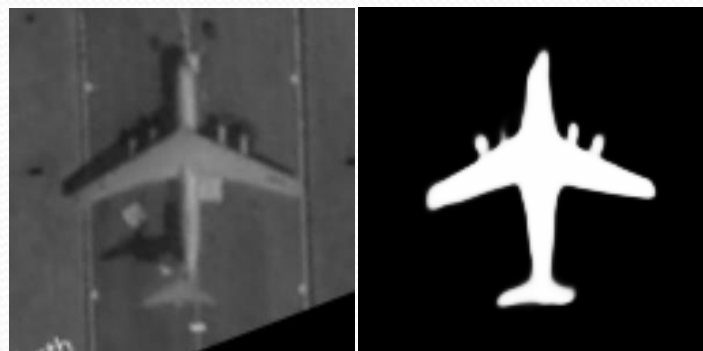


г)

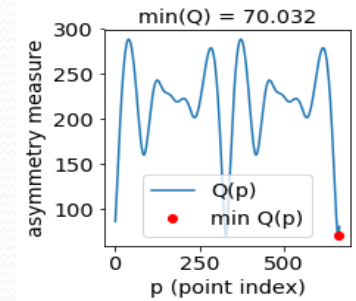
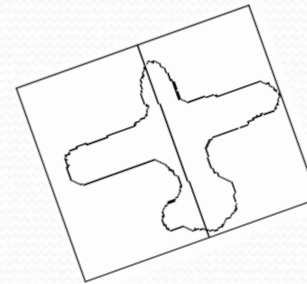
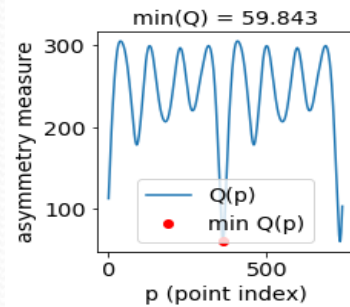
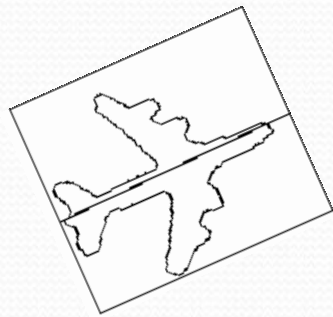
- а) объект на аэрокосмическом снимке,
- б) эталонное векторное представление контура многоугольником,
- в) совмещение контура с объектом с помощью сдвига, поворота и сжатия,
- г) растеризация найденного положения контура



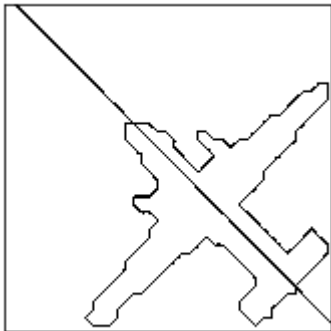
# Результаты сегментации изображений с использованием обученной нейросети



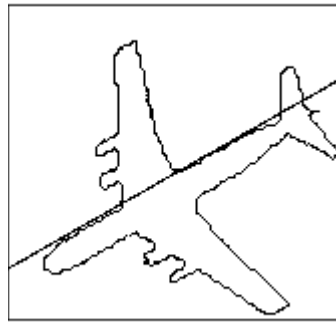
# Алгоритм определения ориентации объектов на основе оси симметрии



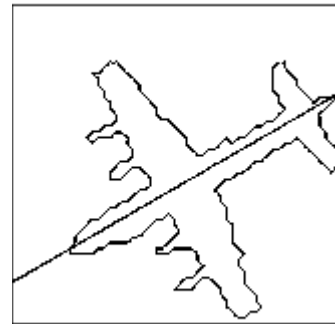
Q = 10.368



Q = 71.803



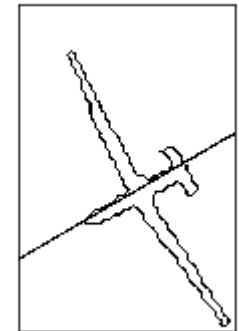
Q = 12.129



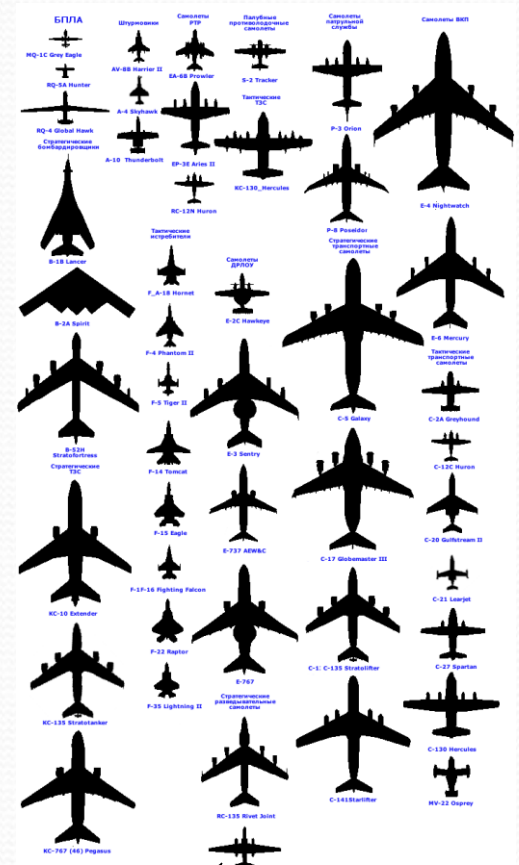
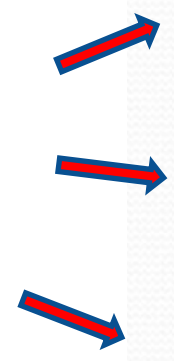
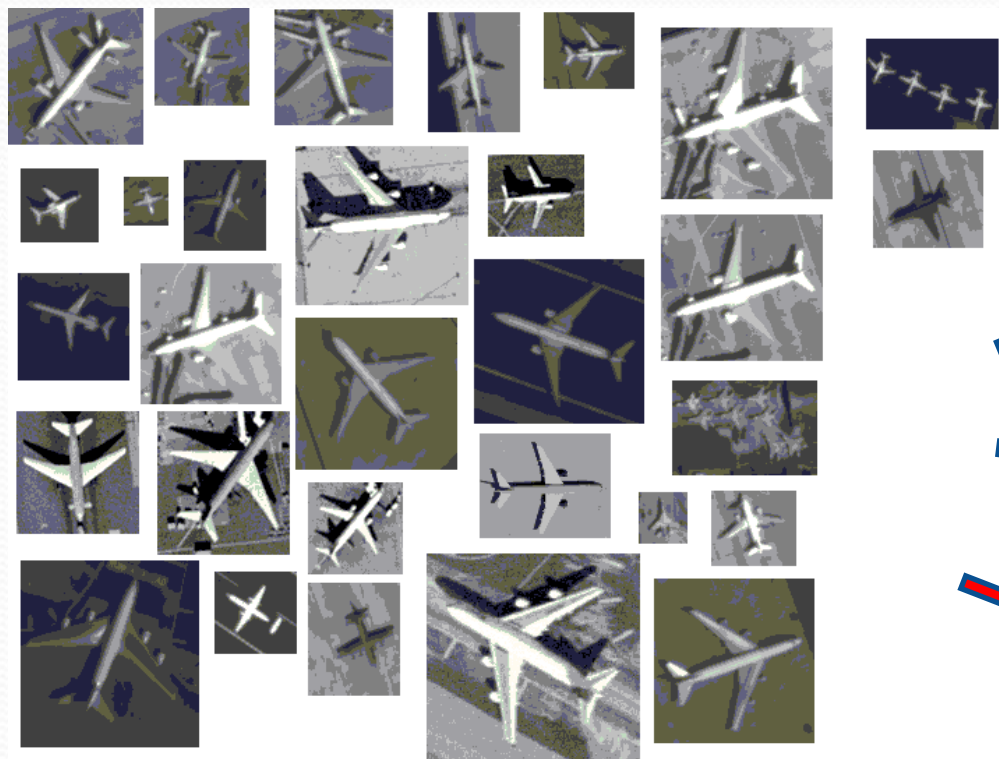
Q = 23.265



Q = 15.595



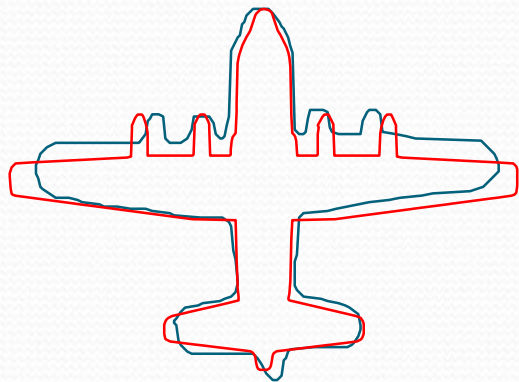
# Задача классификации объектов на аэрокосмических снимках



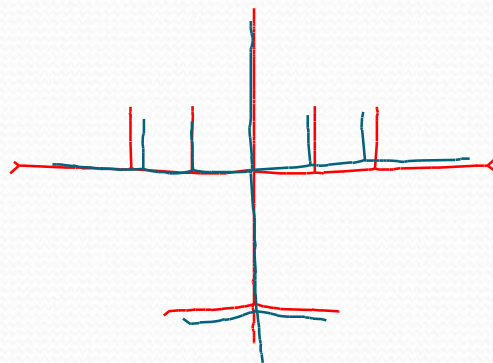
Классификация – распознавание типа объекта



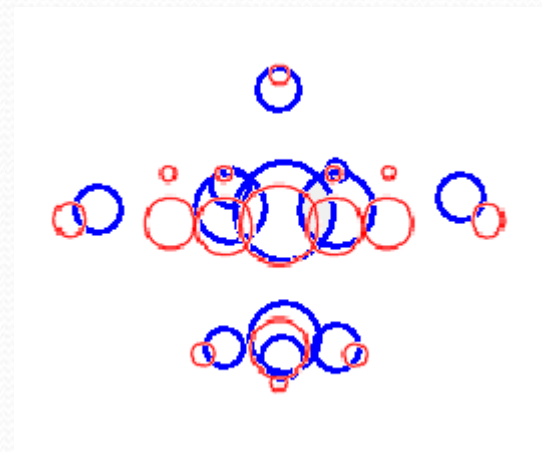
# Меры сходства объектов на основе непрерывных морфологических моделей



Контурная мера



Скелетная мера



Дисковая мера

# Контурная мера сходства объектов

$$D(X, Y) = \frac{1}{L(Y)} \cdot \oint_Y G(d(y, X), \sigma) dy$$

$X$  – граница образца (замкнутый контур)

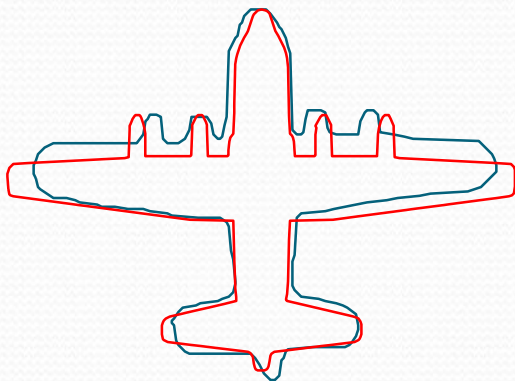
$Y$  – граница эталона (замкнутый контур)

$d(y, X)$  – расстояние от точки границы эталона  $y \in Y$  до границы образца  $X$

$G(z, \sigma) = e^{-z^2/\sigma^2}$  – гауссиан с параметром  $\sigma$  ( $\sigma=2-4$  пиксела)

$L(Y)$  – длина контура границы эталона

$D(X, Y)$  – мера сходства образца  $X$  с эталоном  $Y$

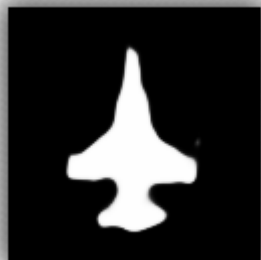


**Физический смысл - доля границы эталона, лежащая вблизи границы образца**

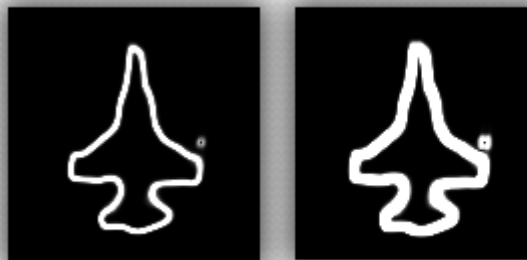


# Вычисление контурной меры

Маска 128\*128  
(выход нейросети)



Контур границы  
сглаженный  
гауссианом



Интеграл - мера  
сходства в контурном  
эталоне





# Скелетная мера сходства объектов

$$D(X, Y) = \frac{1}{L(Y)} \cdot \int_Y G(d(y, X), \sigma) dy$$

$X$  – скелет образца (плоский прямолинейный граф)

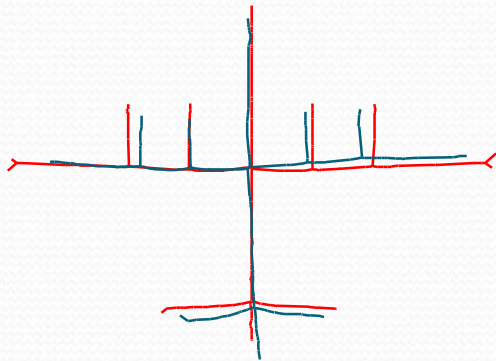
$Y$  – скелет эталона (плоский прямолинейный граф)

$d(y, X)$  – расстояние от точки скелета эталона  $y \in Y$  до скелета образца  $X$

$G(z, \sigma) = e^{-z^2/\sigma^2}$  – гауссиан с параметром  $\sigma$  ( $\sigma=2-4$  пиксела)

$L(Y)$  – суммарная длина ребер скелета эталона

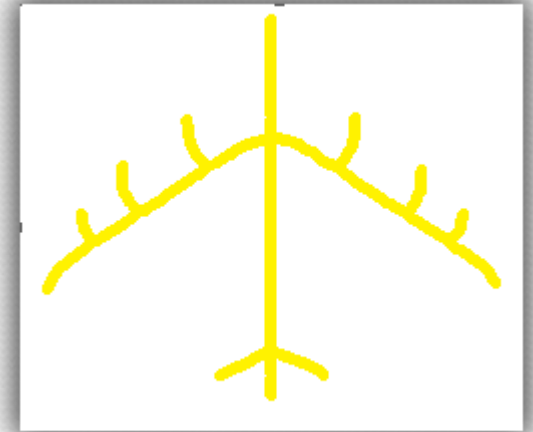
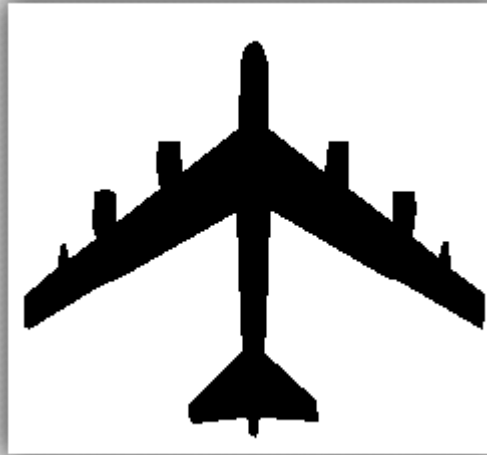
$D(X, Y)$  – мера сходства образца  $X$  с эталоном  $Y$



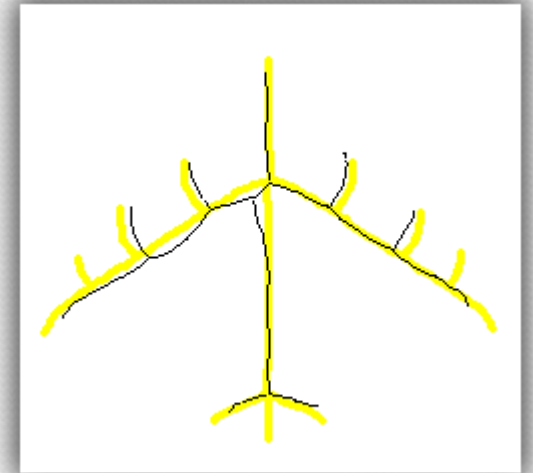
**Физический смысл - доля скелета эталона, лежащая вблизи скелета образца**

# Скелетная мера сходства объектов

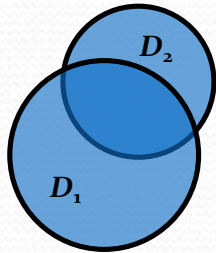
Оригинальное  
изображение  
и скелет «с шириной»



Выход нейросети и  
наилучшее совмещение  
скелетов



# Дисковая мера сходства объектов



$$\mu(D_1, D_2) = \frac{S(D_1 \cap D_2)}{S(D_1 \cup D_2)}$$

- мера близости дисков  $D_1$  и  $D_2$ ,  
отношение площади пересечения к  
площади объединения дисков

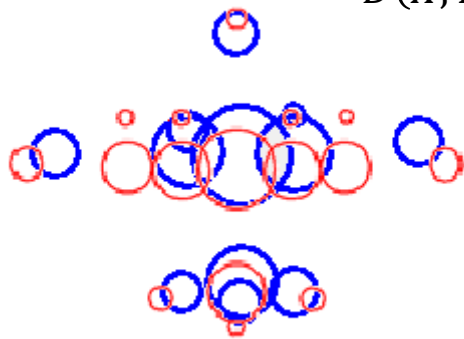
$X = (X_1, X_2, \dots, X_m)$  - ключевые опорные диски образца

$Y = (Y_1, Y_2, \dots, Y_n)$  - ключевые опорные диски эталона

$D(X, Y)$  - мера сходства образца  $X$  с эталоном  $Y$

$\|z_{ij}\|$  - матрица паросочетания максимального веса в двудольном графе  $X \times Y$

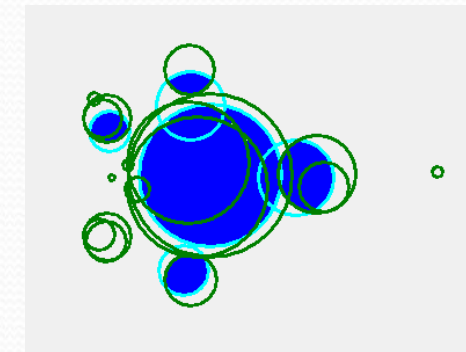
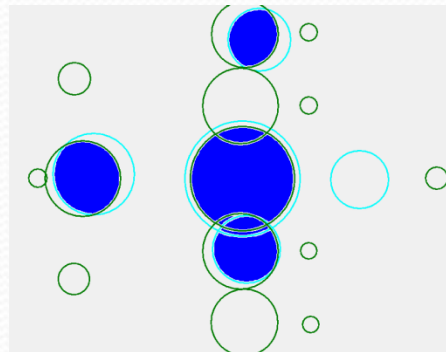
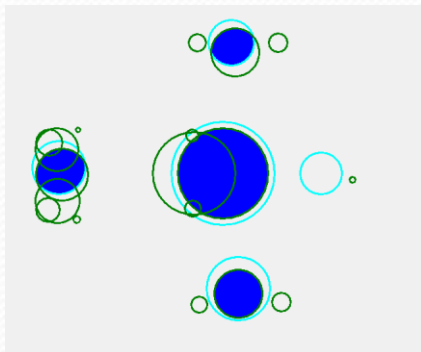
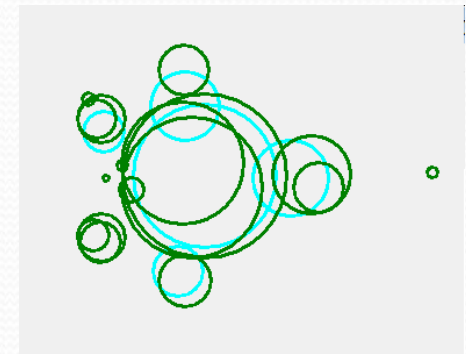
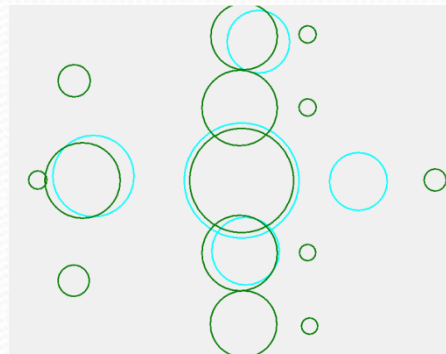
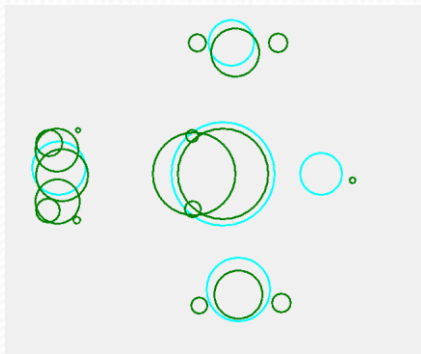
$$D(X, Y) = \frac{\sum_{i=1, \dots, m} \sum_{j=1, \dots, n} \mu(X_i, Y_j) \cdot z_{ij}}{\sum_{i=1, \dots, m} \sum_{j=1, \dots, n} z_{ij}}$$



**Физический смысл – близость ключевых опорных дисков эталона и образца**

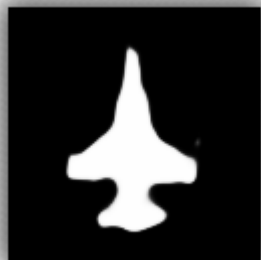


# Вычисление дисковой меры

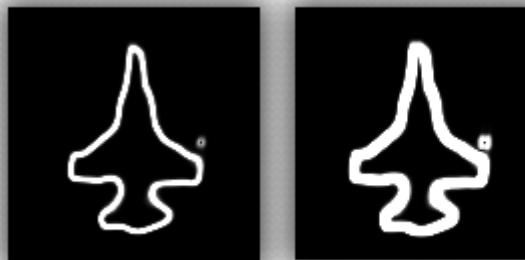


# Вычисление меры сходства с эталоном

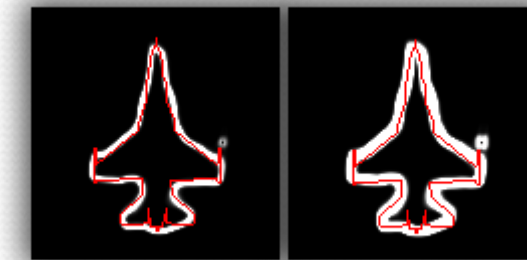
Маска 128\*128  
(выход нейросети)



Контур границы  
сглаженный  
гауссианом



Мера сходства с  
контуром эталона



# Сравнение методов разметки изображений

Метод	Число образцов	Общее время	Время на один образец
Подгонка векторного контура	100	12 мин	7.2 сек
Ручное оконтуривание	9	4 мин	26.7 сек



# Классификация по ближайшему соседу с различными мерами сходства объектов

- Количество эталонов – 46
- Количество образцов – 541
- Количество правильно сегментированных – 522

## Доля правильного распознавания типа объектов

Мера сходства	Тор-1	Тор-3	Тор-5
Контурная	70%	85%	93%
Дисковая	62%	88%	93%

# Разработанные методы и алгоритмы анализа аэрокосмических снимков

1. Построение морфологических моделей по эталонным изображениям объектов авиационной техники
2. Метод разметки объектов на аэрокосмических снимках для обучения алгоритмов автоматической сегментации авиационной техники
3. Метод определения симметричных объектов и нахождения осей симметрии объектов на аэрокосмических снимках
4. Метод классификация объектов авиационной техники на основе морфологических моделей