

Введение в машинное обучение и анализ данных

Фонарев Александр

newo.su

Спецкурс ЛКШ.Июль - 2012

Спасибо за помощь

Потапенко Анне, Ромову Петру,
Мельничуку Павлу, Евдокимовой
Валерии

Лекция 1

Часть 1

Чем занимаются в анализе данных
и машинном обучении?

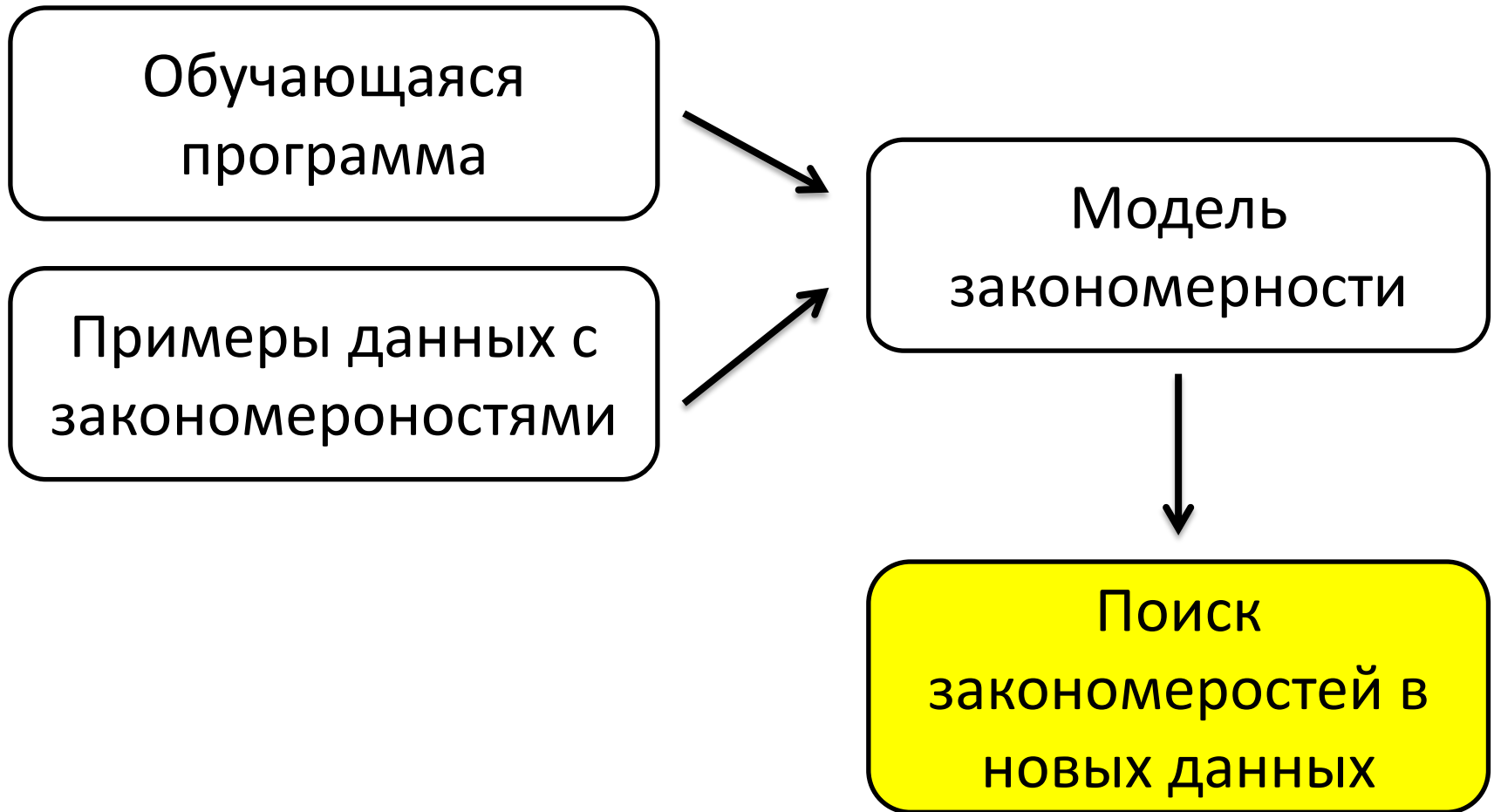
Что такое «Анализ Данных»?

- Сложно устроенные данные
- Большие объемы данных
- Надо найти или проверить закономерности в данных
- А что такое закономерность и как их искать?

Закономерности в данных

- Поиск подстроки в строке – тоже поиск закономерности
- Что делать, если мы не умеем хорошо описать закономерность?
- Почему человек понимает закономерность?

Суть машинного обучения

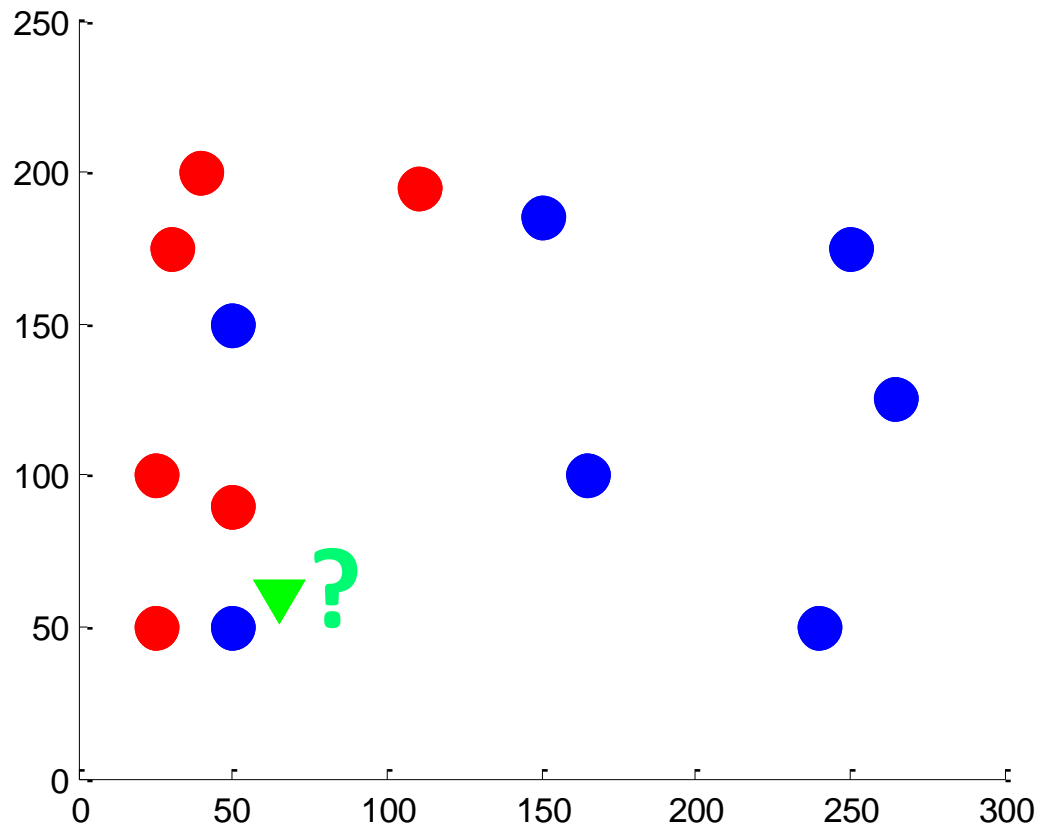


Часть 2

Простейшие задачи классификации

Простая задача

- Синий или красный новый объект?

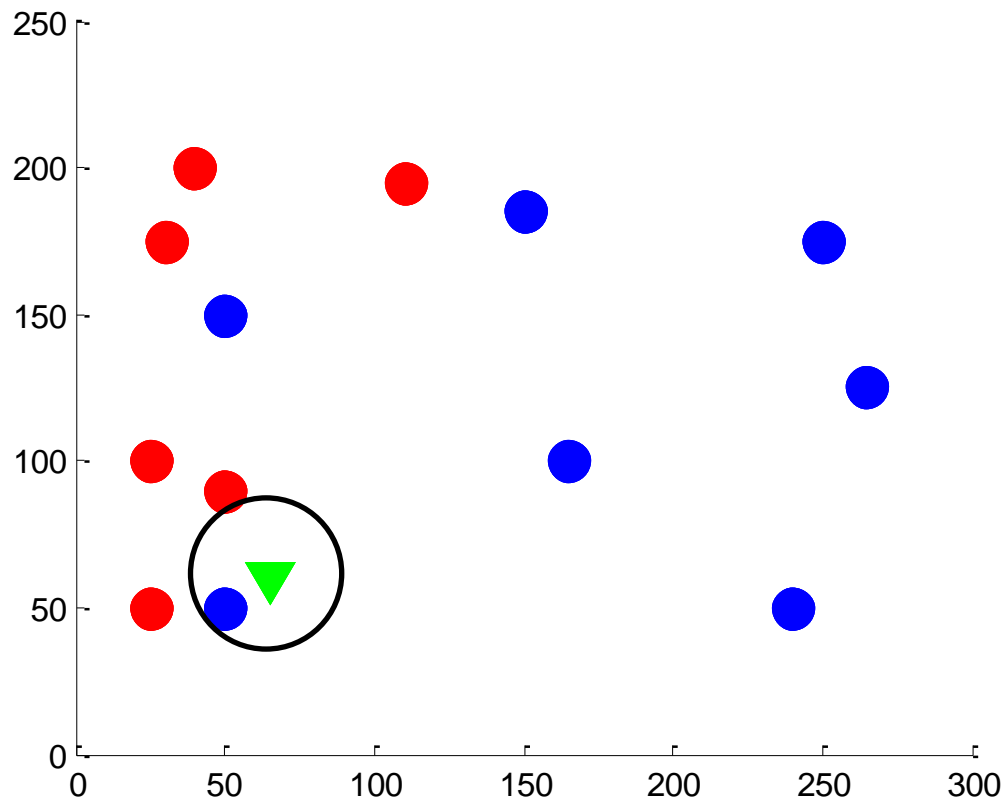


Как решать?

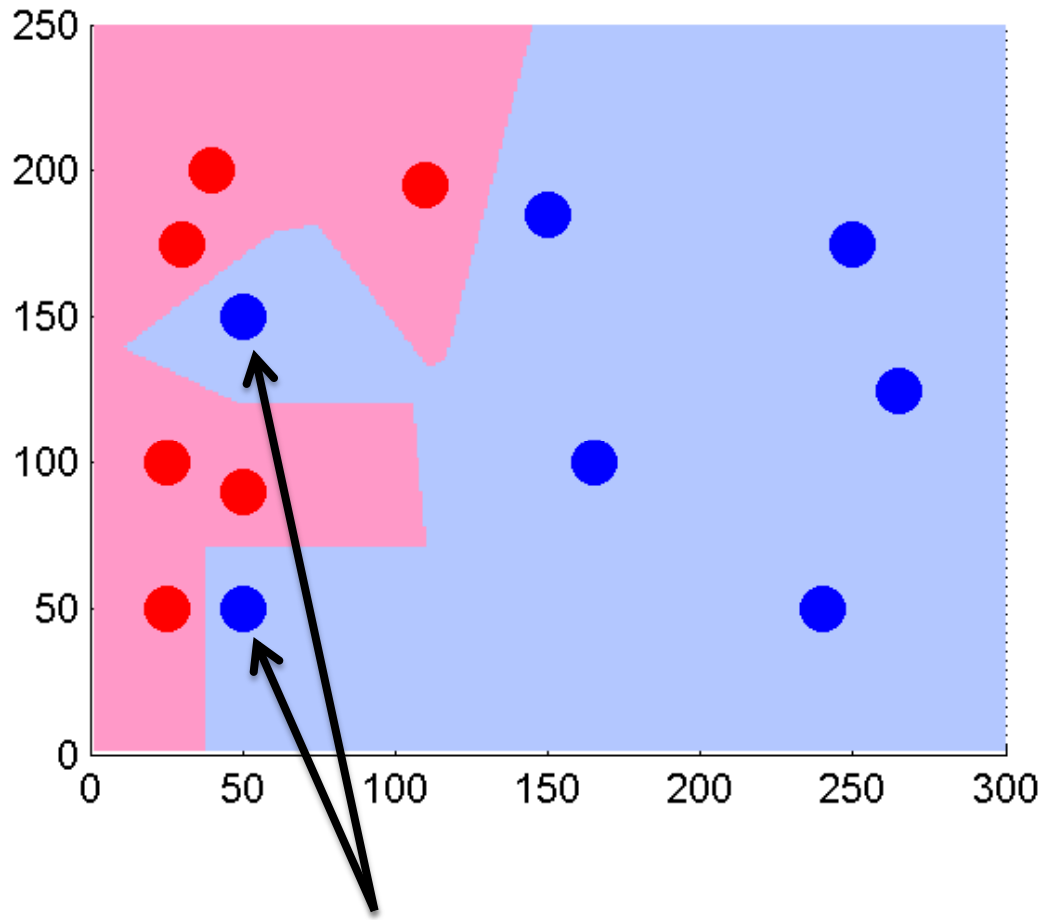
- Точного и правильного решения здесь нет
- Пытаемся решить логично с интуитивной точки зрения

Ближайший сосед

- Пусть новый объект принадлежит к тому же классу, что и его ближайший сосед



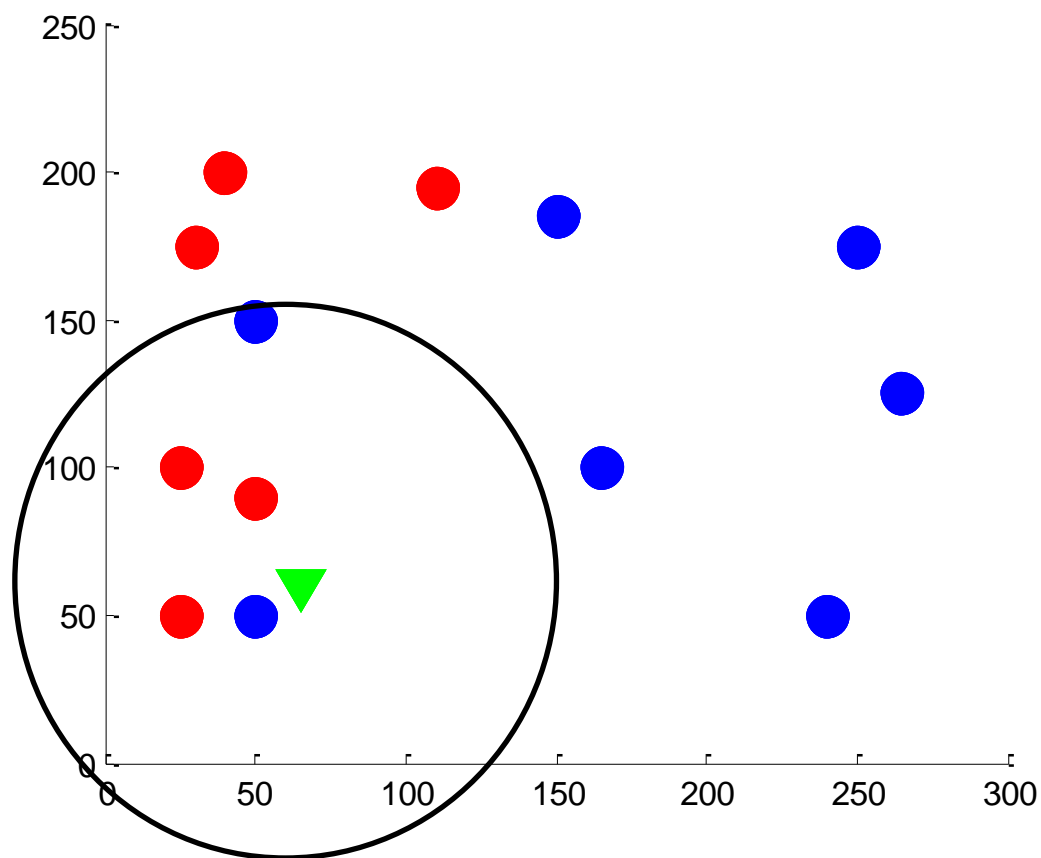
Граница разделения классов



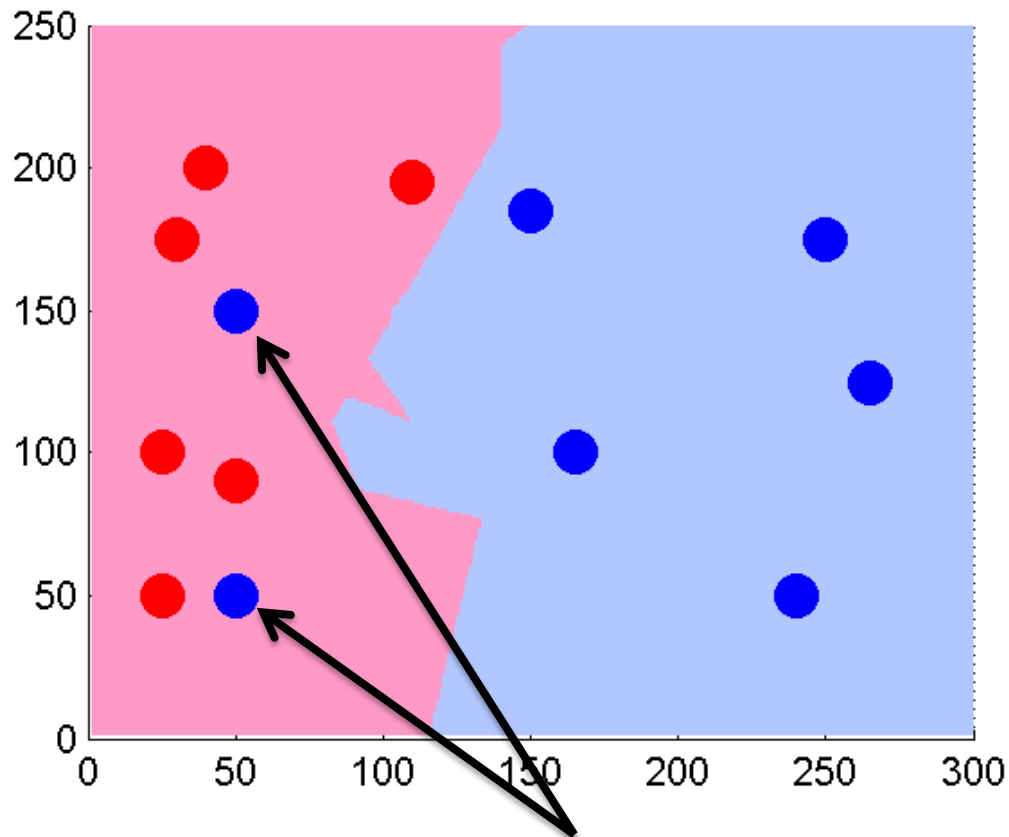
Возможно, шумовые объекты

Несколько ближайших соседей

- Новый объект принадлежит тому же классу, что и большинство из k его соседей

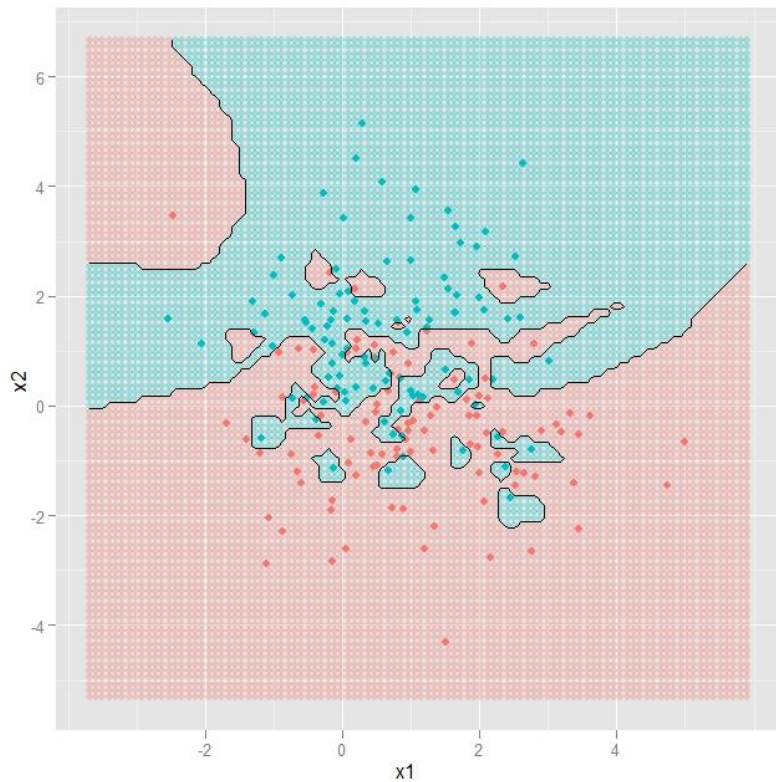


Граница разделения классов для $k=5$

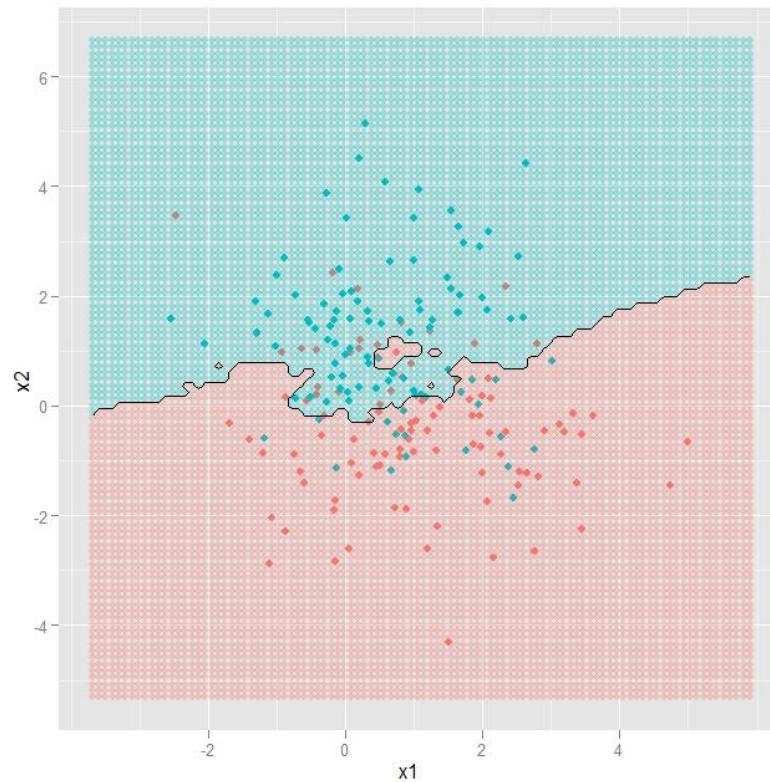


Оказывается, алгоритм дает ошибку на обучающей выборке! А это и не плохо.

А если объектов больше?



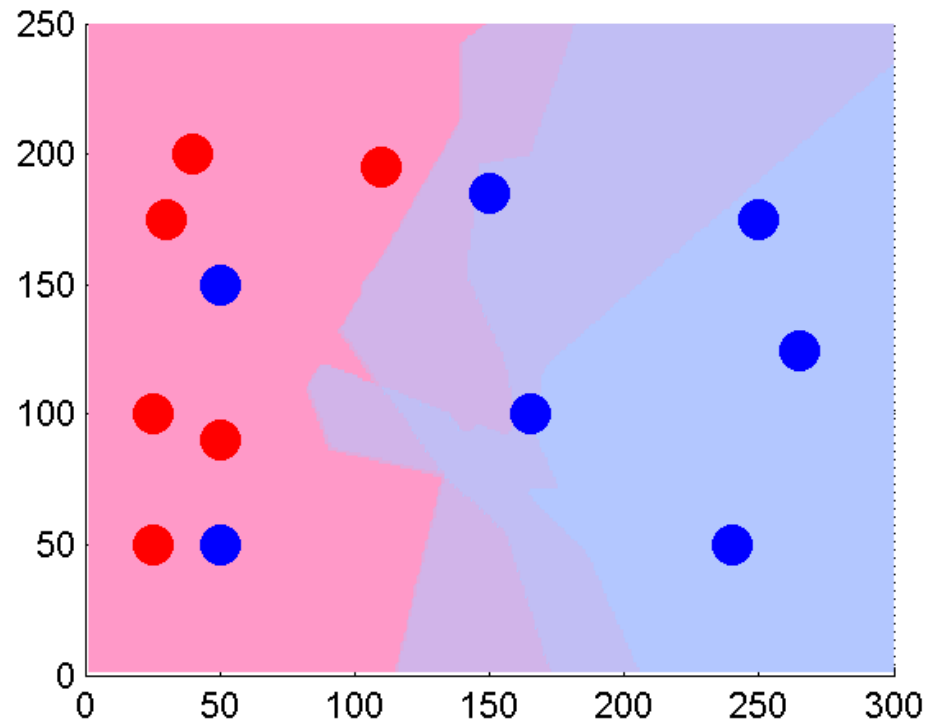
$K=1$



$K=15$

Нечеткая граница для $k=5$

- Полутона означают, что примерно половина соседей одного класса и половина другого



Часть 3

Основные понятия машинного
обучения

Формальная постановка задачи

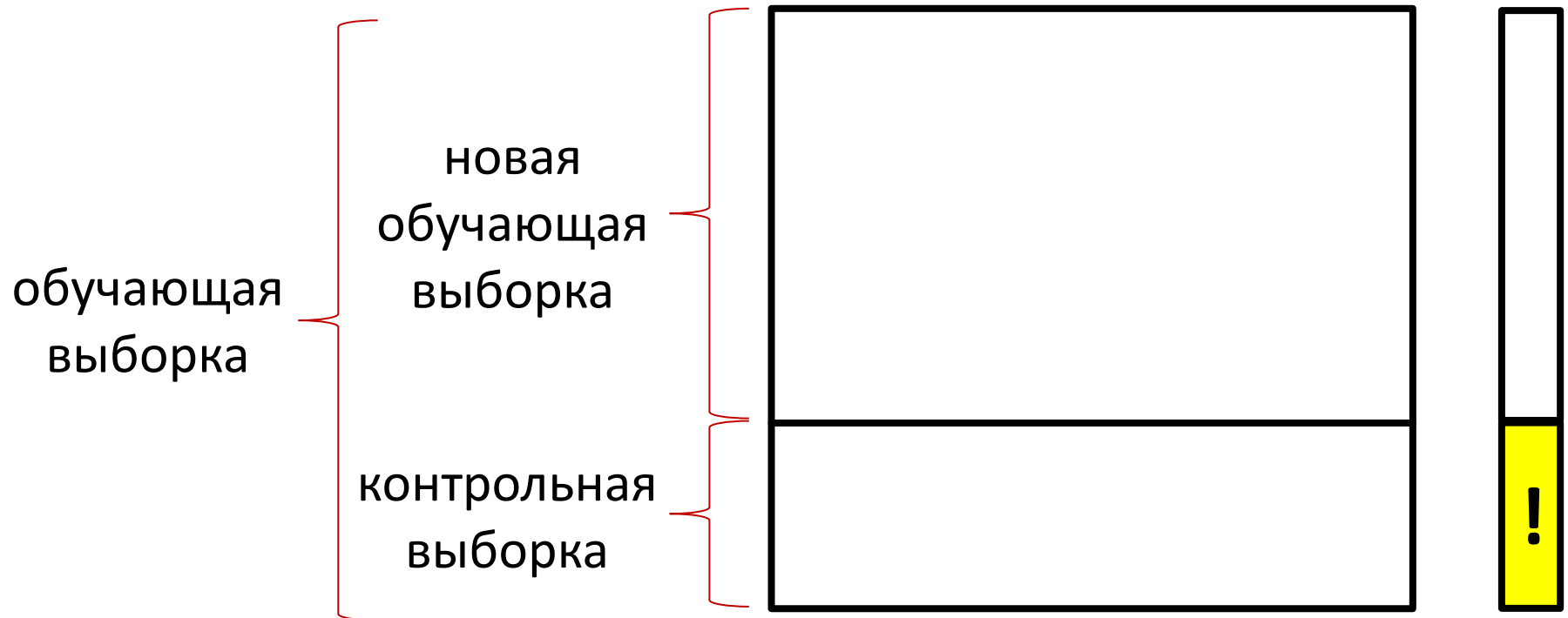


Какой алгоритм выбрать?

- Можно придумать много разных алгоритмов
- Качество – это доля правильных ответов на **НОВЫХ** данных, т.е.
$$\frac{\text{количество объектов с правильными ответами}}{\text{количество новых объектов}}$$
- Как понять, сильно ли он ошибается, если нам не известны правильные ответы новых объектов?

Разбиение на контроль

- Используем имеющиеся данные из обучающей выборки. Разобьем обучение на две части.
- На одной мы будем обучаться, а на второй проверять, сколько ошибок выдал алгоритм

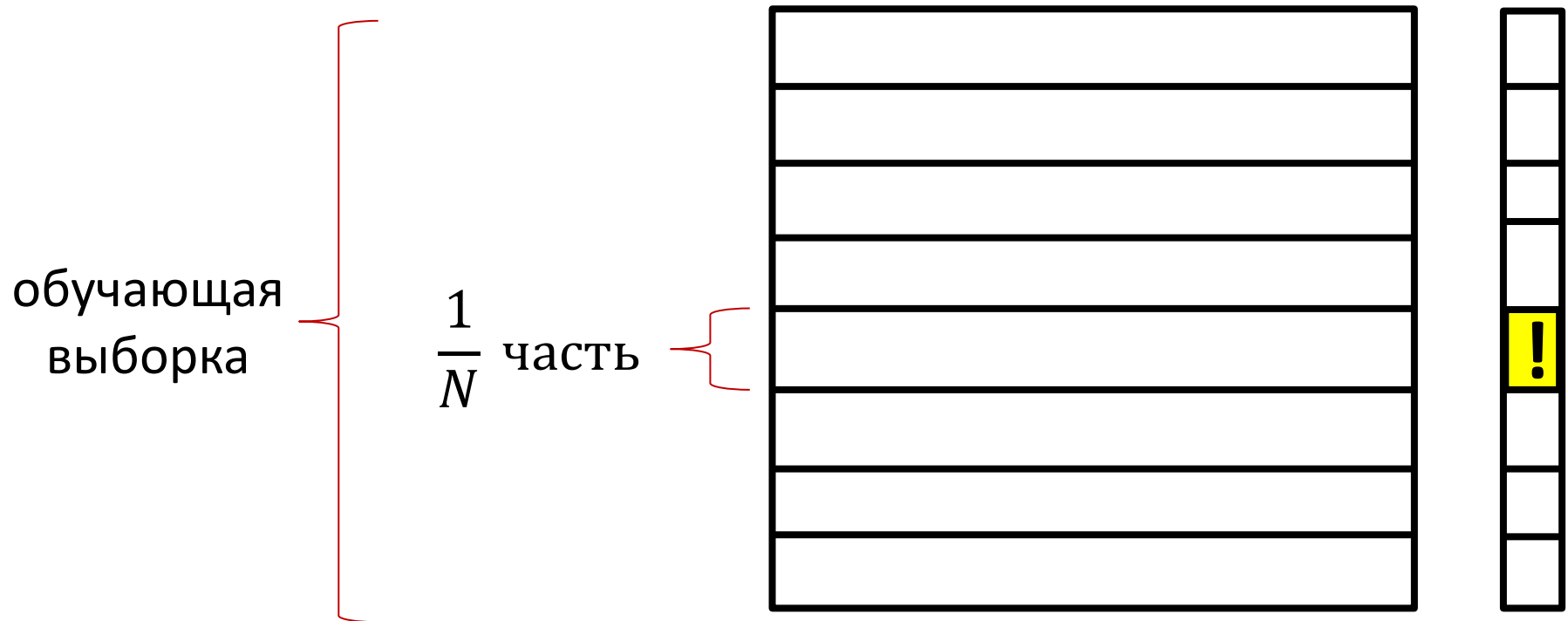


Недостатки разбиения на контроль

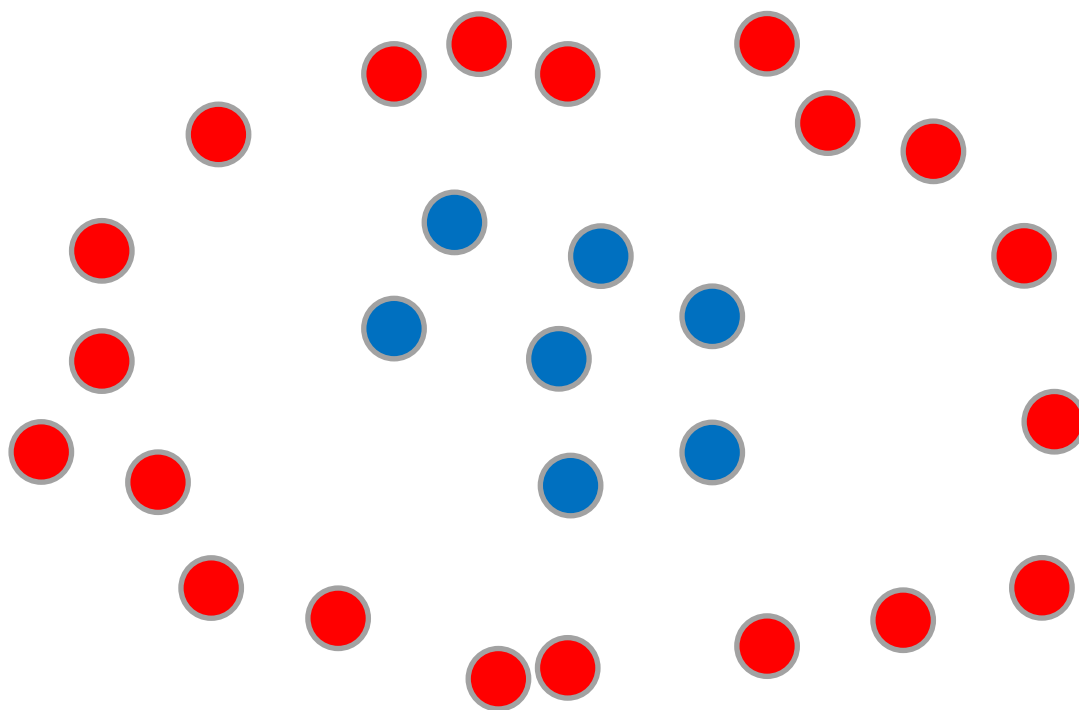
- Обучаемся не на всех данных, т.е. классификация получается хуже
- Проверяем качество только на малой части данных
- Как бы проверить качество на всех данных?

Скользящий контроль

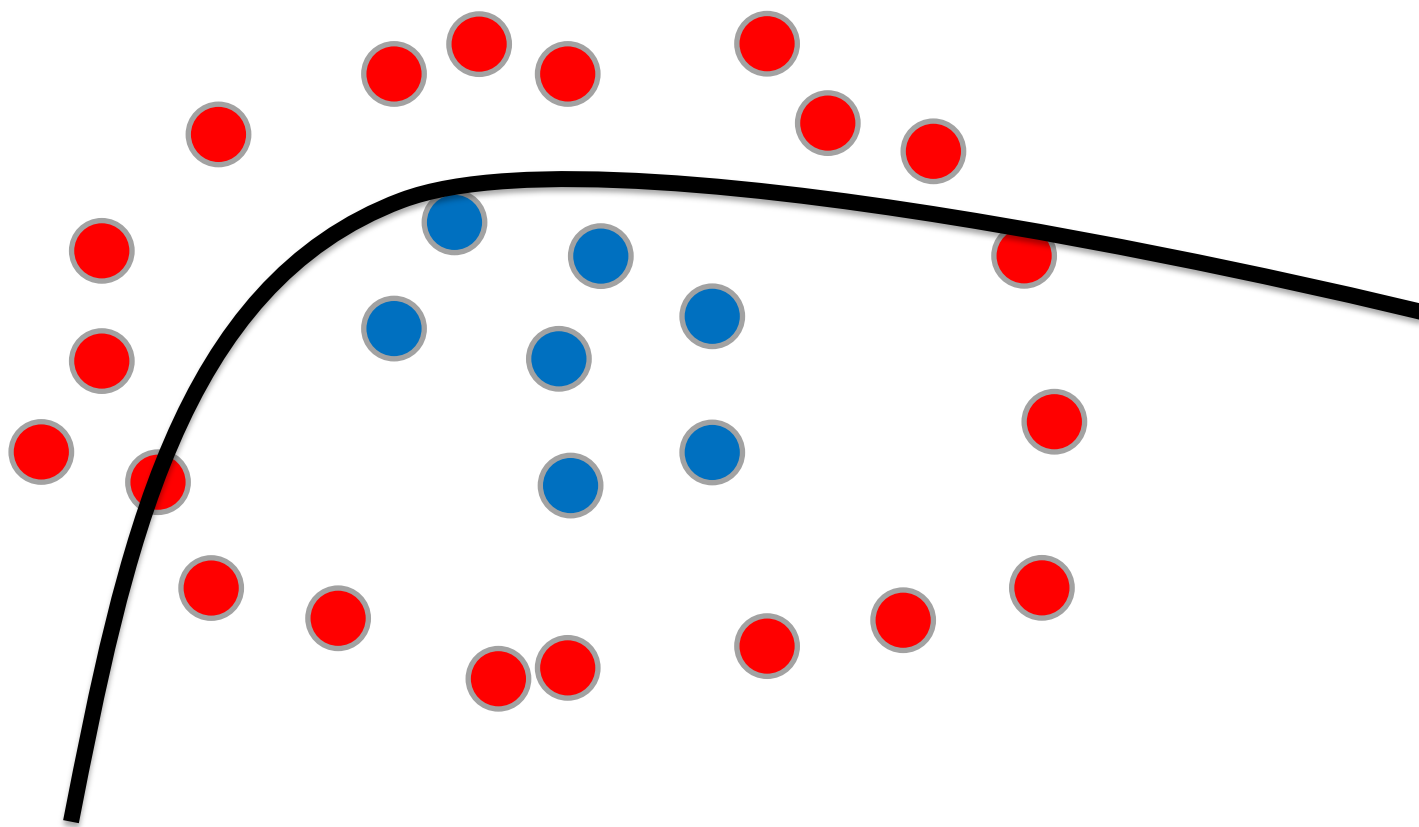
- Разбиваем обучающую выборку на N равных частей
- Поочередной выбрасываем каждую из частей, обучаемся на остальных и оцениваем качество
- Усредняем



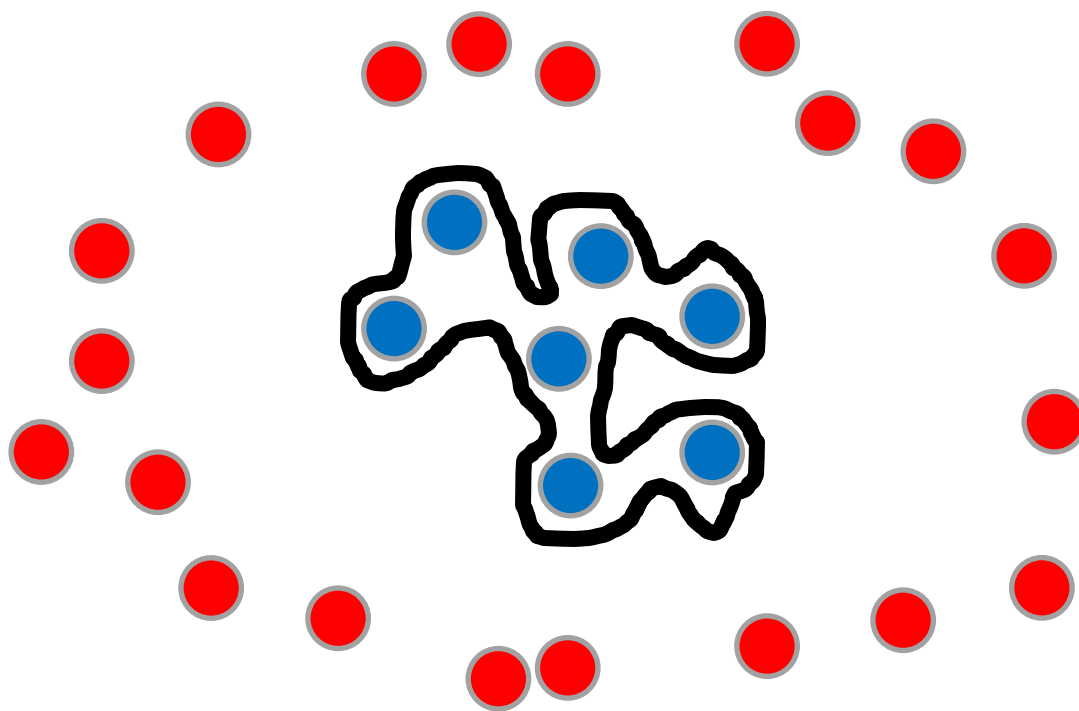
Как лучше выбрать границу?



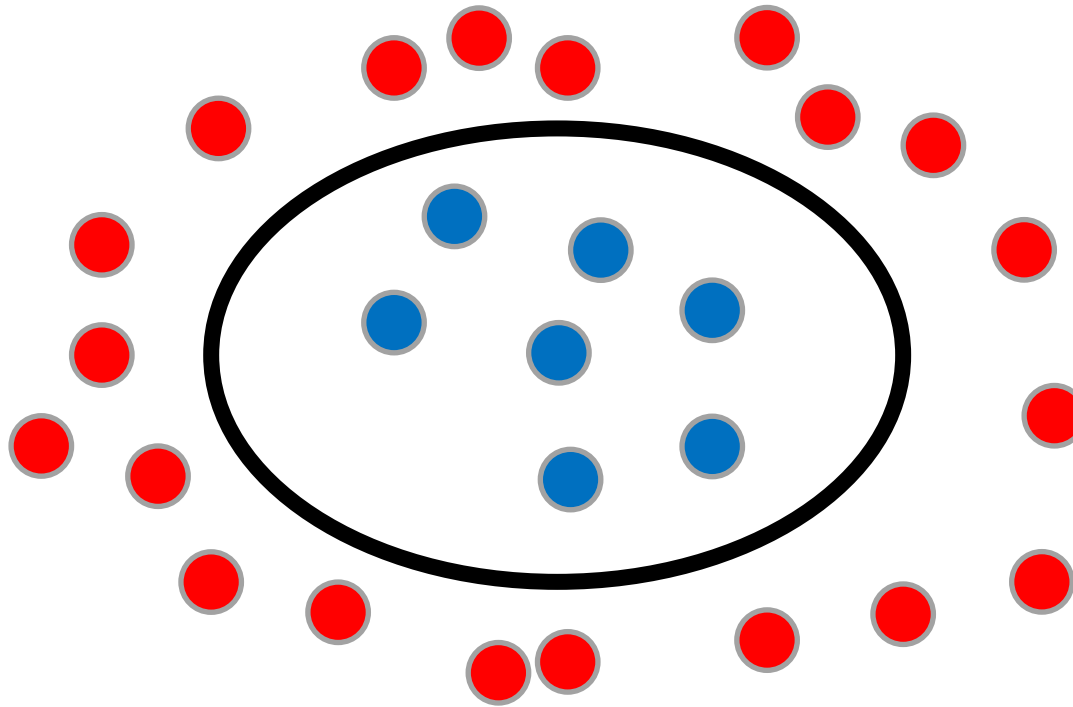
Недообученная модель



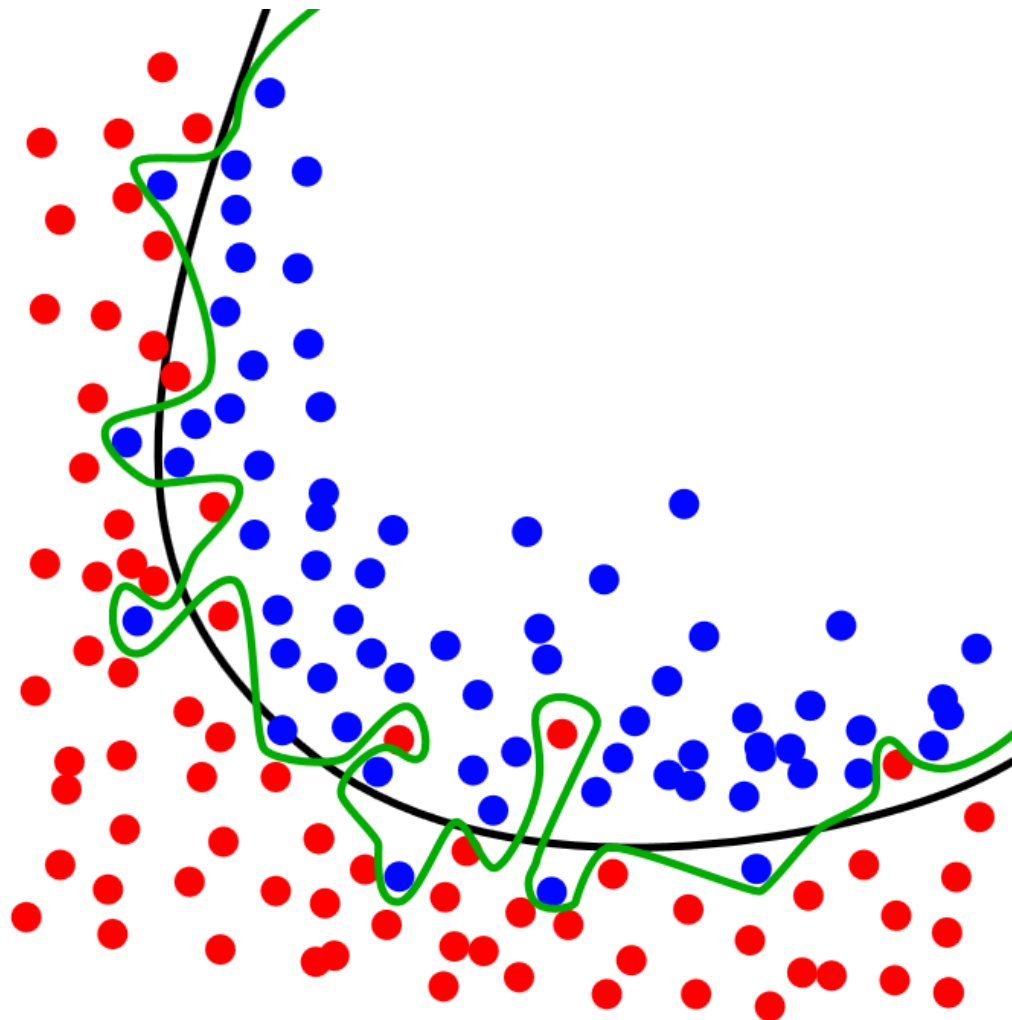
Переобученная модель



Оптимальная модель



Переобучение



Синонимы

- Распознавание, предсказание, прогнозирование
- Обучающая выборка, тренировочный набор объектов, наблюдение
- Тестовая выборка, контрольная выборка, валидационная выборка, скрытая выборка
- Классы, метки классов
- Скользящий контроль, кроссвалидация

Часть 4

Классификация ирисов

Классификация ирисов

- Решим реальную задачу
- Три биологических вида цветков:



Ирис щетинистый
(*Iris setosa*)



Ирис виргинский
(*Iris virginica*)



Ирис
разноцветный
(*Iris versicolor*)

Обучающая выборка

- Дана база из 150 конкретных цветков
- Каждого вида ровно 50 цветков (треть)
- Даны значения четырех параметров каждого цветка (в сантиметрах):
 - Длина чашелистика
 - Ширина чашелистика
 - Длина лепестка
 - Ширина лепестка

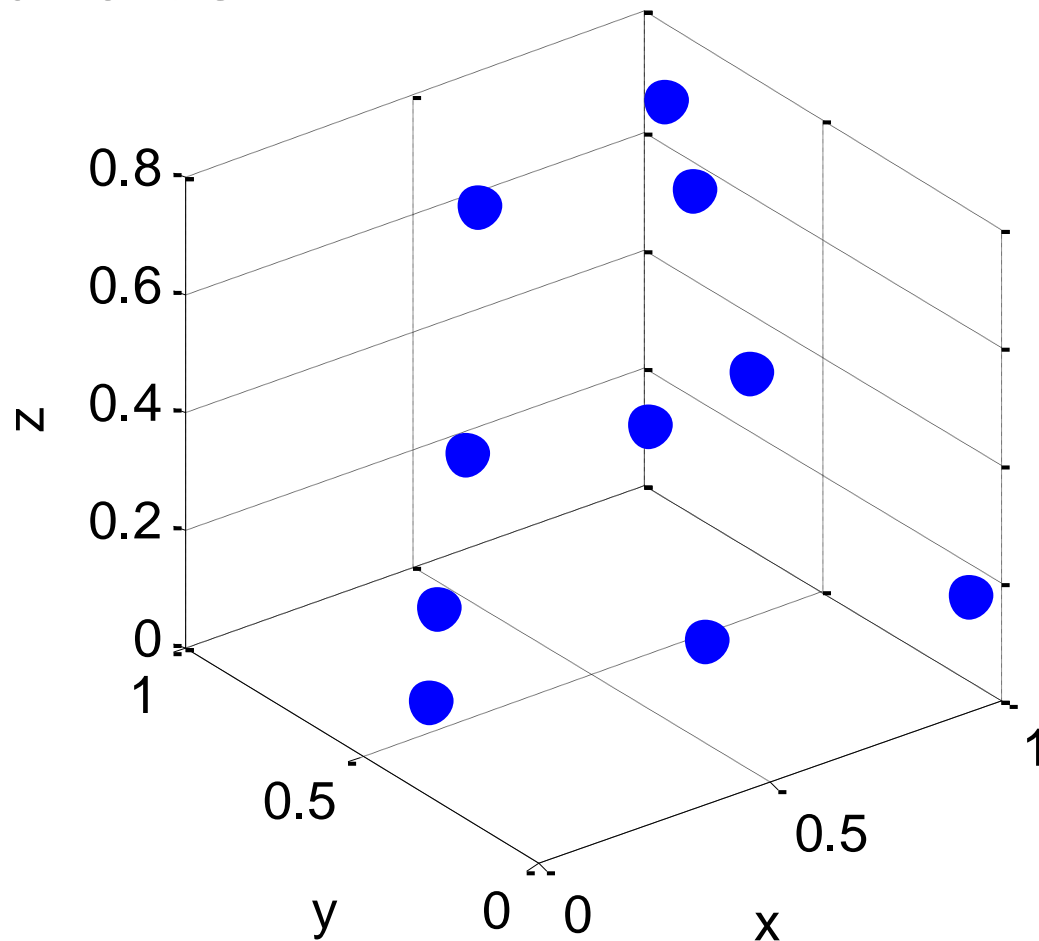
Обучающая выборка

- Произвольный кусок таблицы с данными:

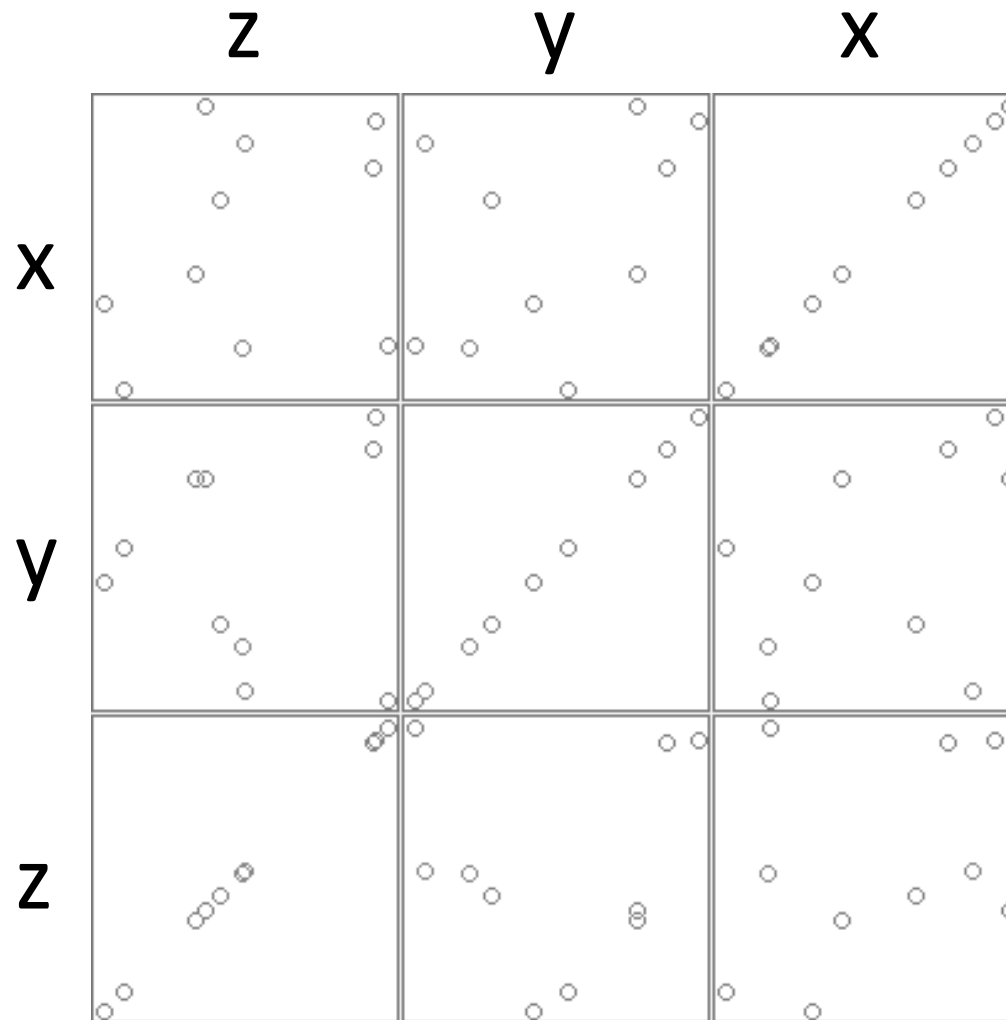
| Длина чашелистика | Ширина чашелистика | Длина лепестка | Ширина лепестка | Вид ириса |
|-------------------|--------------------|----------------|-----------------|--------------|
| 7.7 | 3.8 | 6.7 | 2.2 | виргинский |
| 4.9 | 3.0 | 1.4 | 0.2 | щетиный |
| 5.9 | 3.0 | 4.2 | 1.5 | разноцветный |
| 6.0 | 2.2 | 4.0 | 1.0 | разноцветный |
| 6.3 | 3.3 | 6.0 | 2.5 | виргинский |
| 5.2 | 3.5 | 1.5 | 0.2 | щетиный |
| 5.7 | 2.9 | 4.2 | 1.3 | разноцветный |

Лирическое отступление

- Пусть объекты – точки в трехмерном пространстве



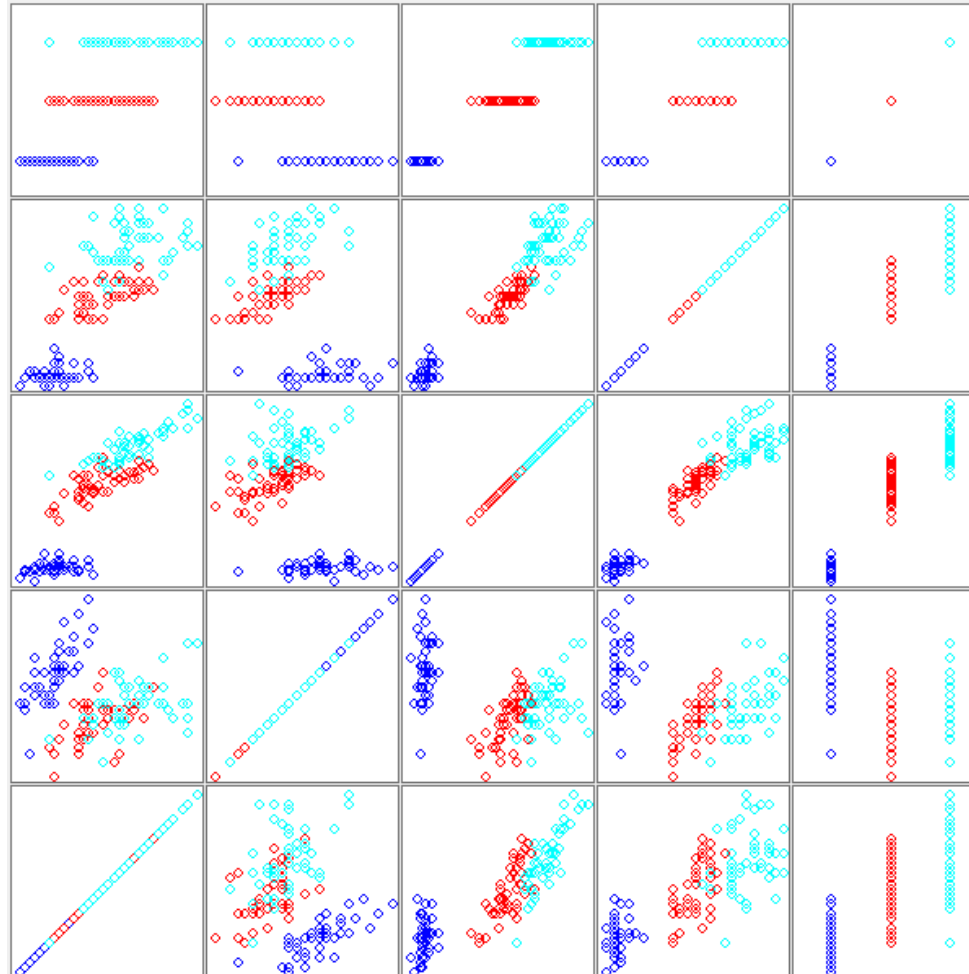
Двумерные проекции трехмерных данных




Как выглядят данные об ирисах?

длина ширина длина ширина
ч. ч. л. л.

класс



 ирис щетинистый

 ирис виргинский

 ирис разноцветный

ширина
чашелистника

длина
чашелистника

Задача обучения

- Необходимо по обучающей выборке из 150 цветов научиться классифицировать новые ирисы в один из трех видов
- Опять воспользуемся методом ближайшего соседа
- Вопрос: как считать расстояние, ведь пространство четырехмерное?

Подсчет расстояния между точками а и b

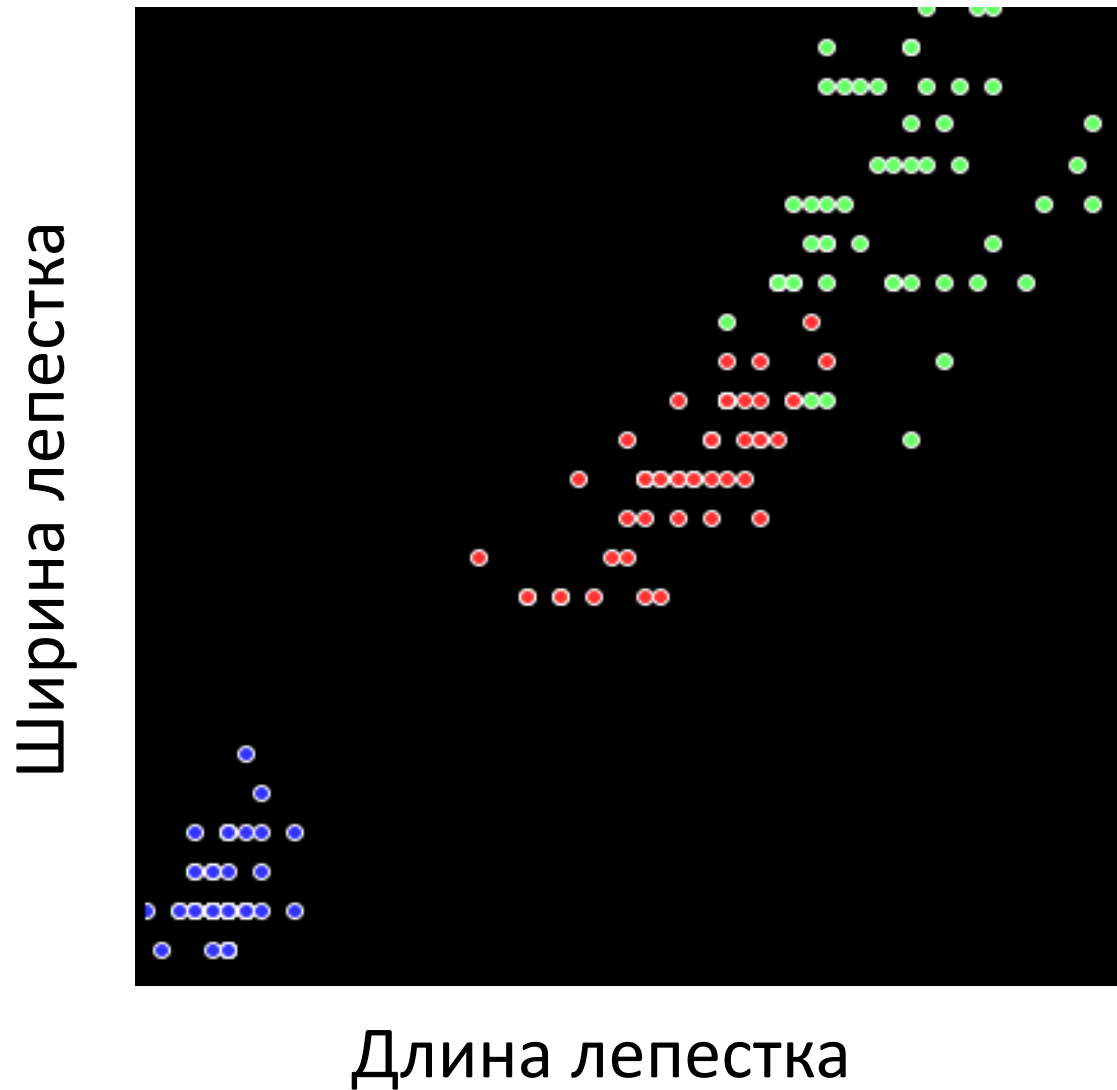
- Двумерный случай (на плоскости):

$$\sqrt{(a_x - b_x)^2 + (a_y - b_y)^2}$$

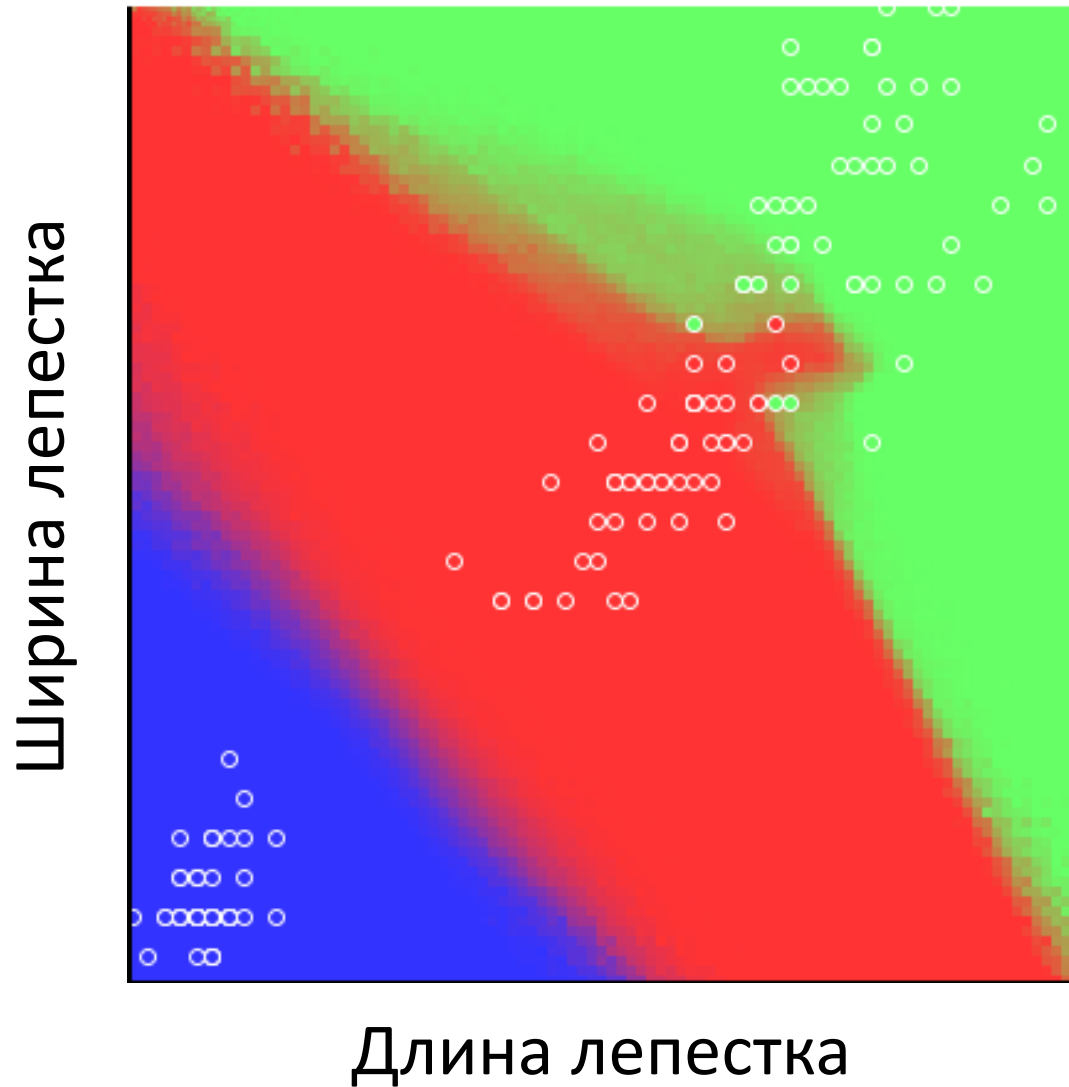
- Четырехмерный случай (аналогично):

$$\sqrt{(a_1 - b_1)^2 + (a_2 - b_2)^2 + (a_3 - b_3)^2 + (a_4 - b_4)^2}$$

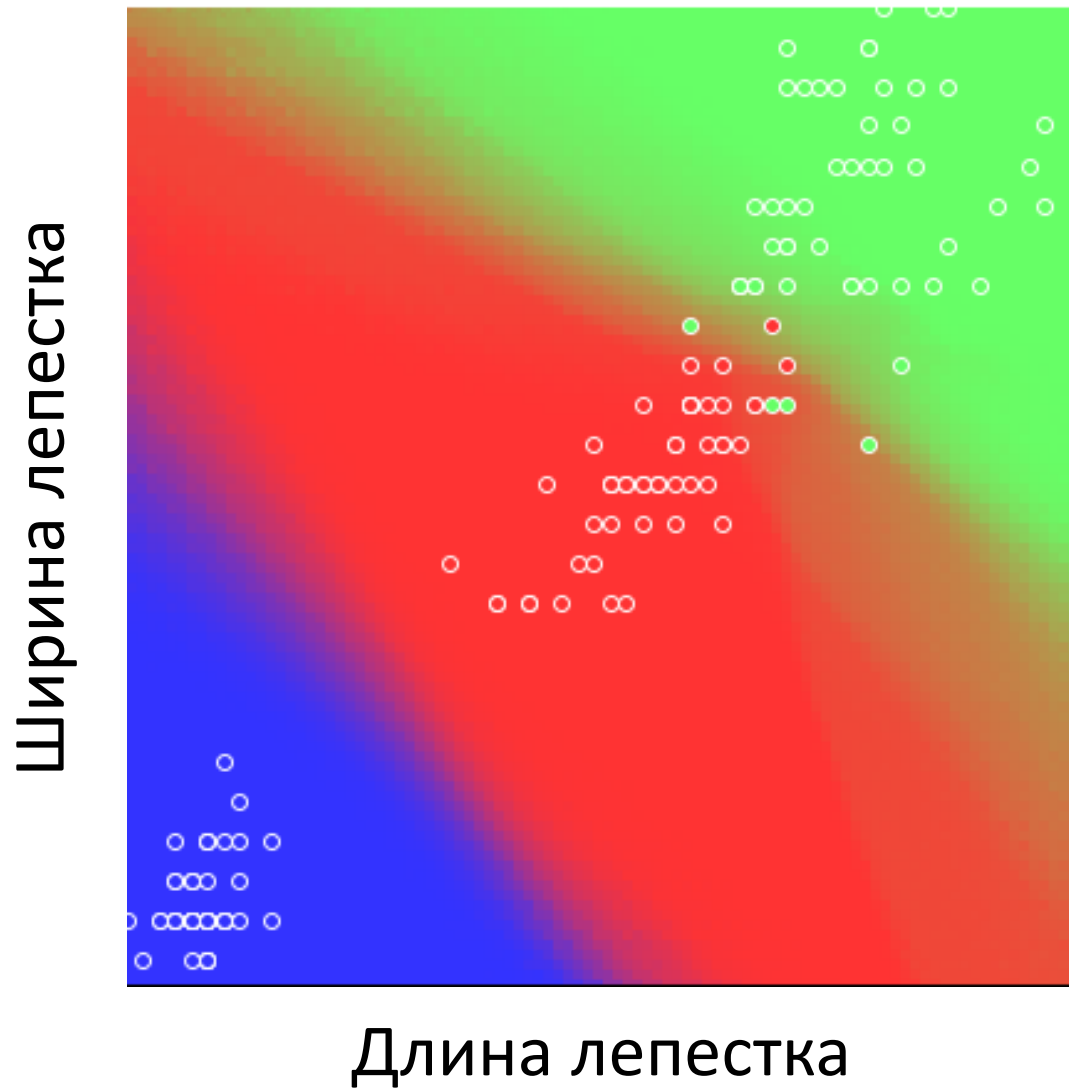
В разрезе по двум признакам



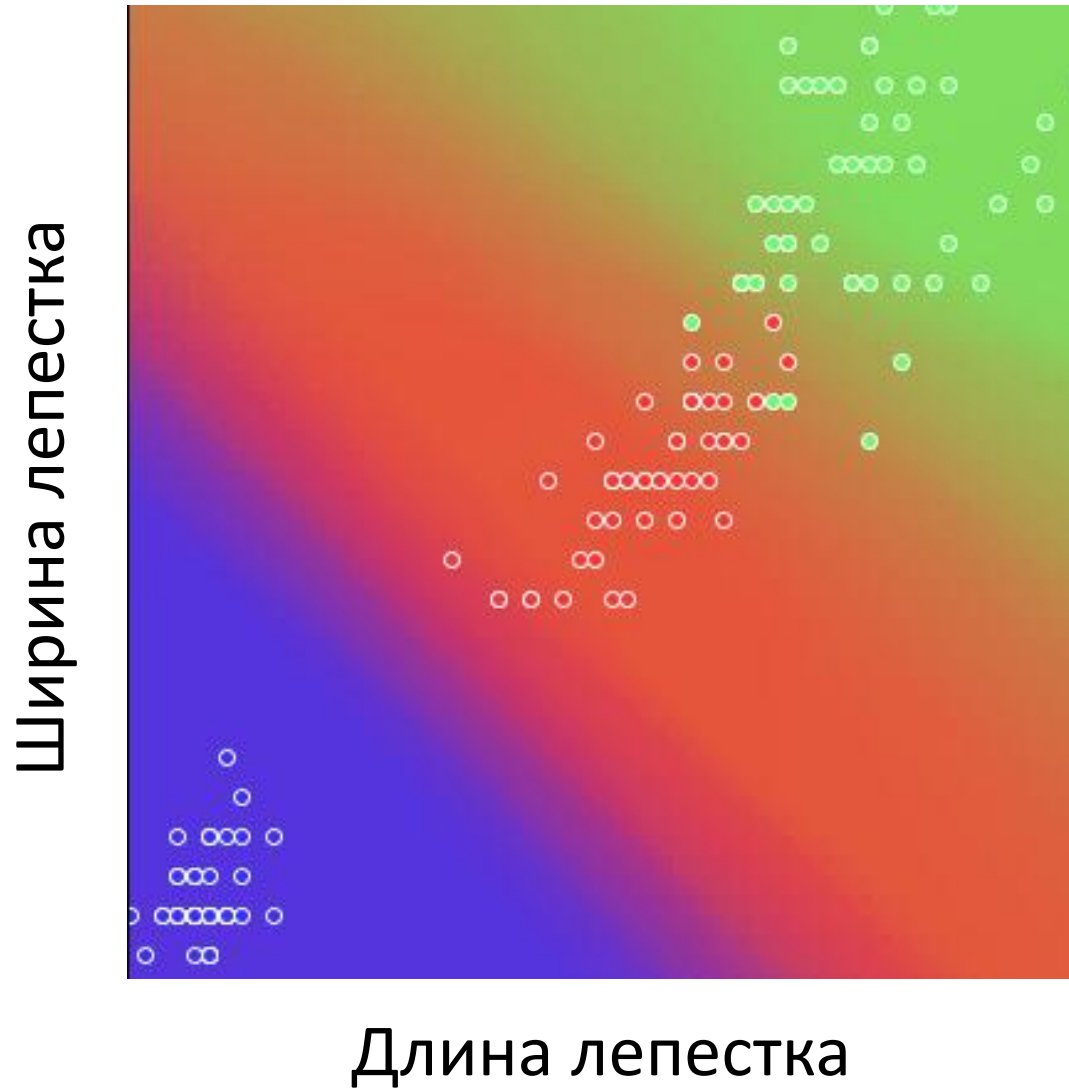
Граница разделения классов при $k=1$



Граница разделения классов при $k=10$

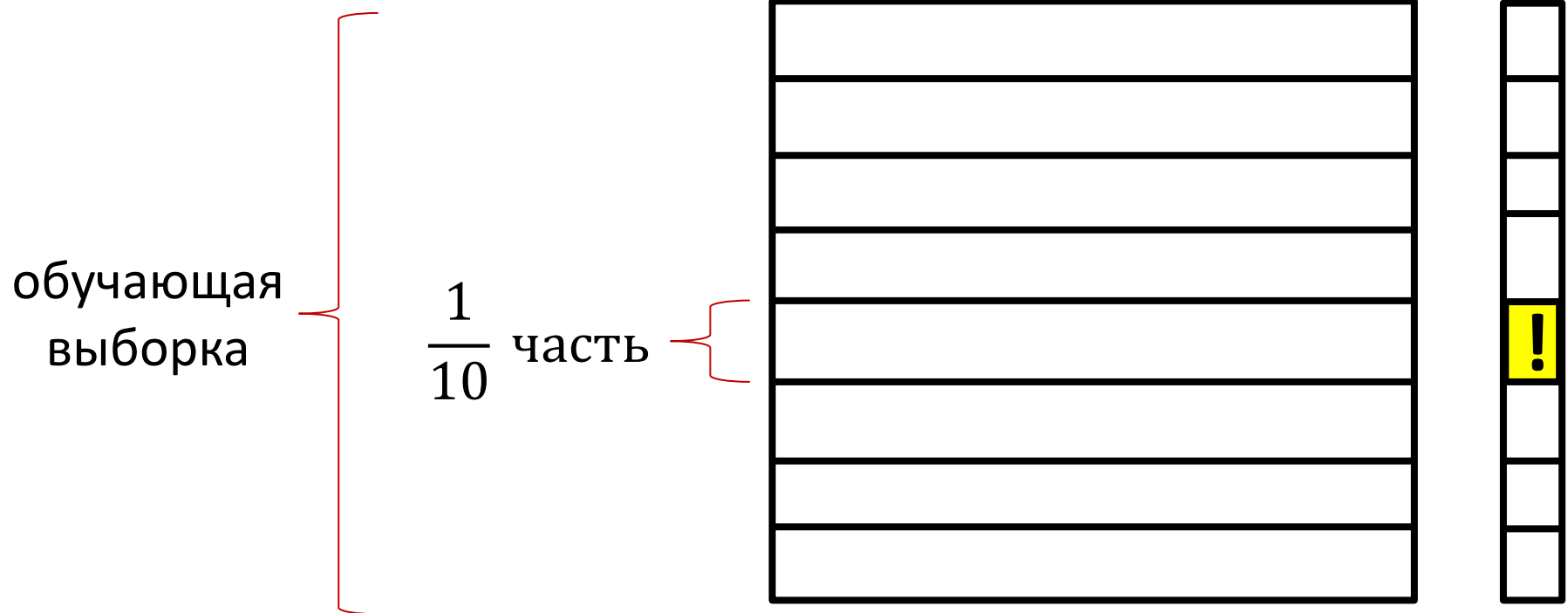


Граница разделения классов при $k=60$



Какое k выбрать? Скользящий контроль!

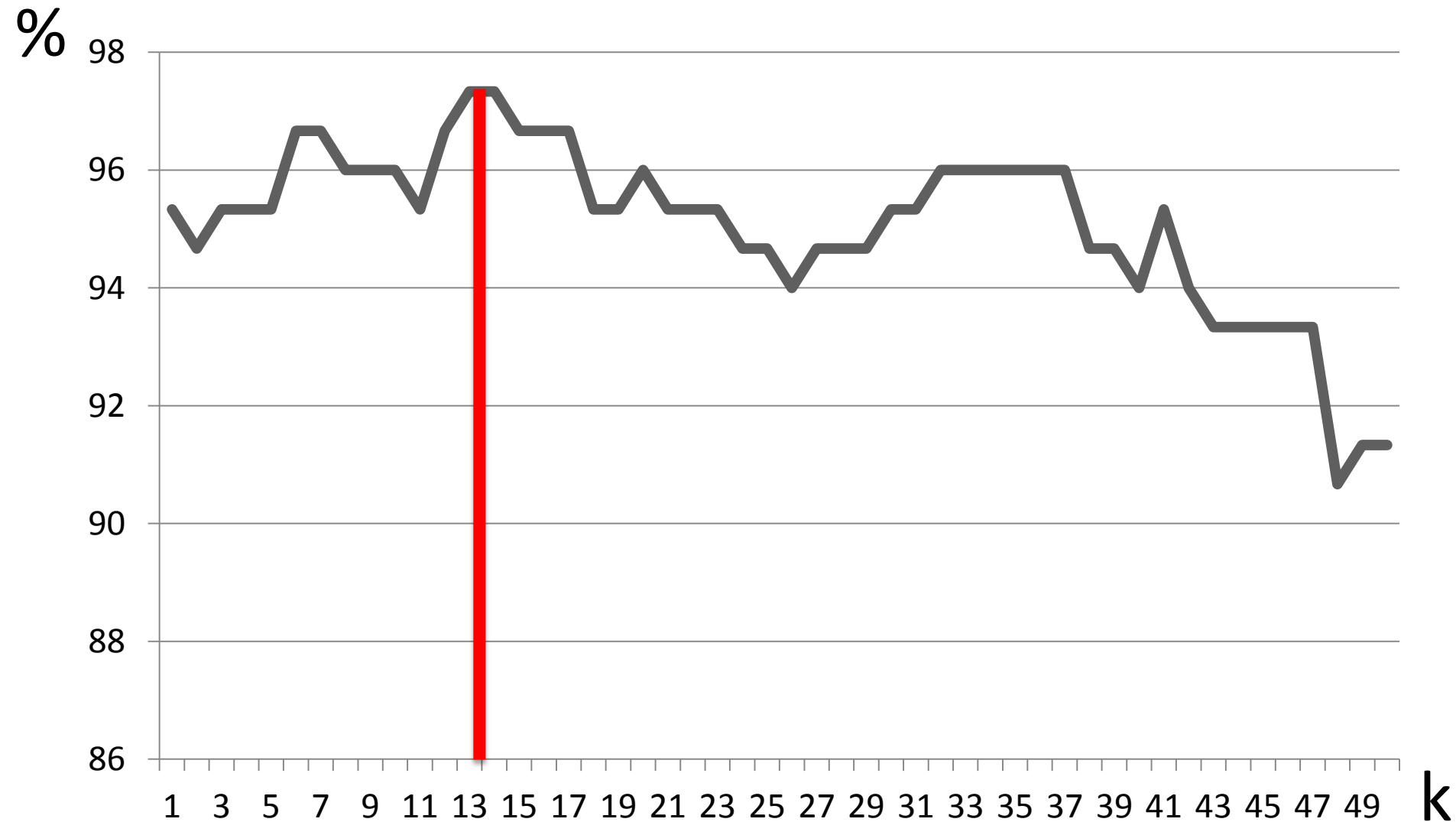
- Произвольно разбиваем обучающую выборку на 10 равных частей
- Поочередной выбрасываем каждую из частей, обучаемся на остальных и оцениваем качество
- Усредняем



Качество при разных k

- При $k=1$ качество составило 95.3333 %
- При $k=2$ качество составило 94.6667 %
- При $k=3$ качество составило 95.3333 %
- Посчитаем для всех k

Качество обучения в зависимости от k



Как точнее узнавать оптимальное значение k ?

- Видно что график скачет, почему?
- Точно узнать k тяжело
- Проводить кроссвалидацию много раз, а затем усреднять

Еще раз про выбор расстояния

Несколько мыслей:

- Можно добавить признакам веса

$$\sqrt{\mathbf{10}(a_1 - b_1)^2 + (a_2 - b_2)^2 + (a_3 - b_3)^2 + (a_4 - b_4)^2}$$

- Можно вообще считать расстояния вообще по-другому: $|a_1 - b_1| + |a_2 - b_2| + |a_3 - b_3| + |a_4 - b_4|$
- Как раз это и основная проблема в методе ближайших соседей – надо знать, как удачно считать расстояние в данной задаче

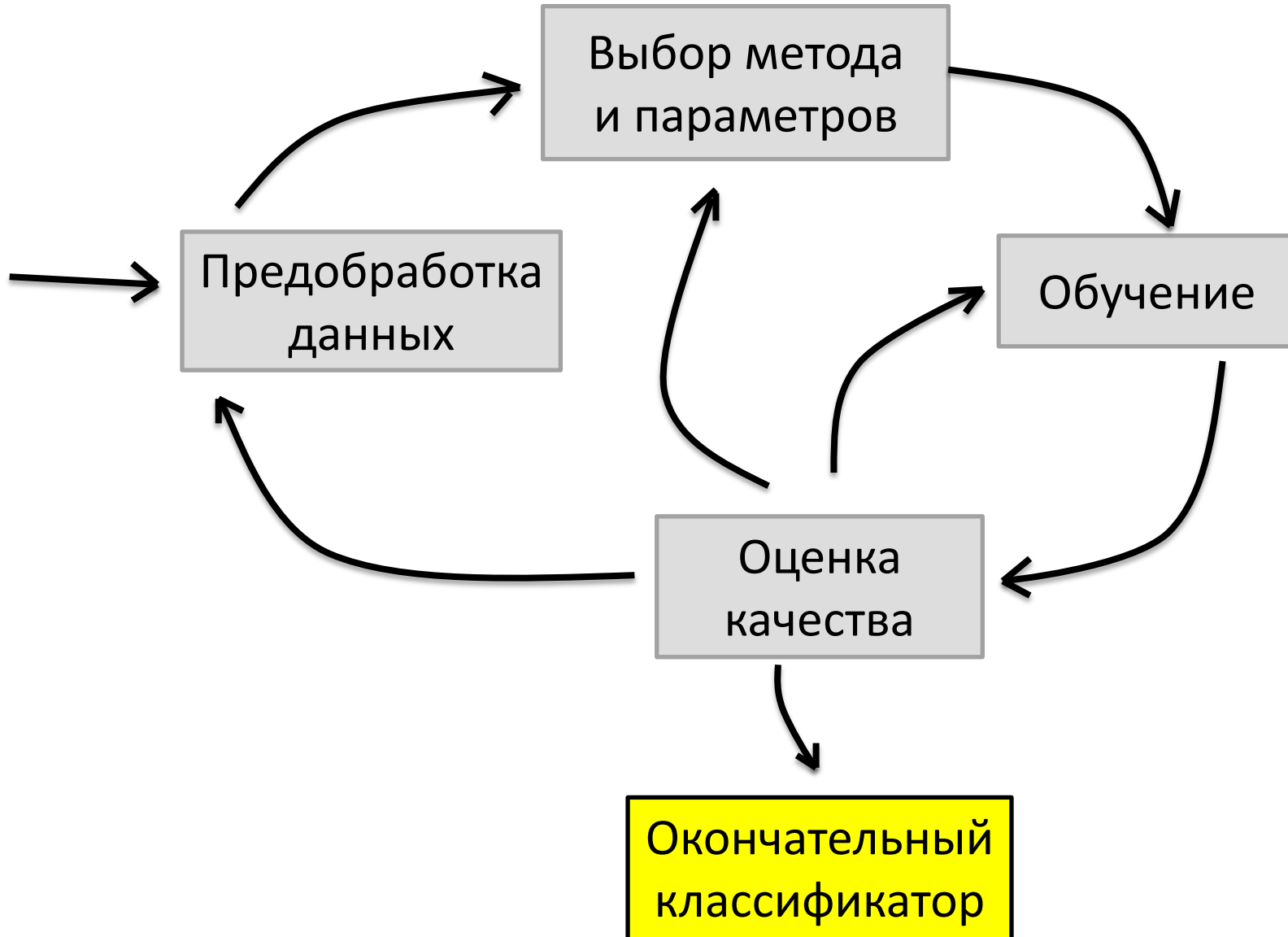
Еще раз про метод ближайших соседей

- Похожие объекты рядом
- Сложность: $O(NM)$, N – количество объектов в обучении, M – количество новых объектов
- Нужно знать, как считать расстояние между объектами
- Есть один параметр – число соседей k

Параметры модели

- Количество параметров у алгоритма бывает куда больше
- Не всегда удастся «тупо» перебрать все значения параметров у модели
- Придумываются разные методы нахождения параметров

Цикл решения задачи



Часть 5

Практика решения реальных задач

Про терминологию

- **Интеллектуальный анализ данных** (Data Mining)
- **Машинное обучение** (Machine Learning, Statistical Learning)
- **Прикладная статистика** (Applied Statistics)
- **Искусственный Интеллект** (Artificial Intelligence)

Соревнования по анализу данных

- Сайты
 - Kaggle.com
 - Tunedit.org
 - Яндекс Интернет-Математика
- Кем проводятся
 - Компаниями
 - Работодателями
 - Университетами

Отличия от олимпиадного программирования

- Дается одна задача, а не несколько
- Решаются значительно дольше (недели, месяцы, годы)
- Не существует точного и правильного решения, проводится много экспериментов, чтобы понять, какое решение выбрать
- Идет борьба за сущие проценты качества
- Не важен язык, скорость работы и ресурсы; важен только результат
- В одиночку или командами

На чем пишут алгоритмы обучения?

- Готовые наборы методов машинного обучения (для общего понимания, какой метод лучше)
 - Weka
 - RapidMiner
 - Orange
- Интерпретируемые языки (для экспериментов и выбора алгоритма)
 - Matlab (Octave – бесплатная версия)
 - Python (+ библиотеки NumPy, SciPy, и т.п.)
 - R
- Более низкоуровневые языки (для скорости работы, когда уже ясно, какой алгоритм будет использоваться)
 - C
 - C++

Примеры реальных задач

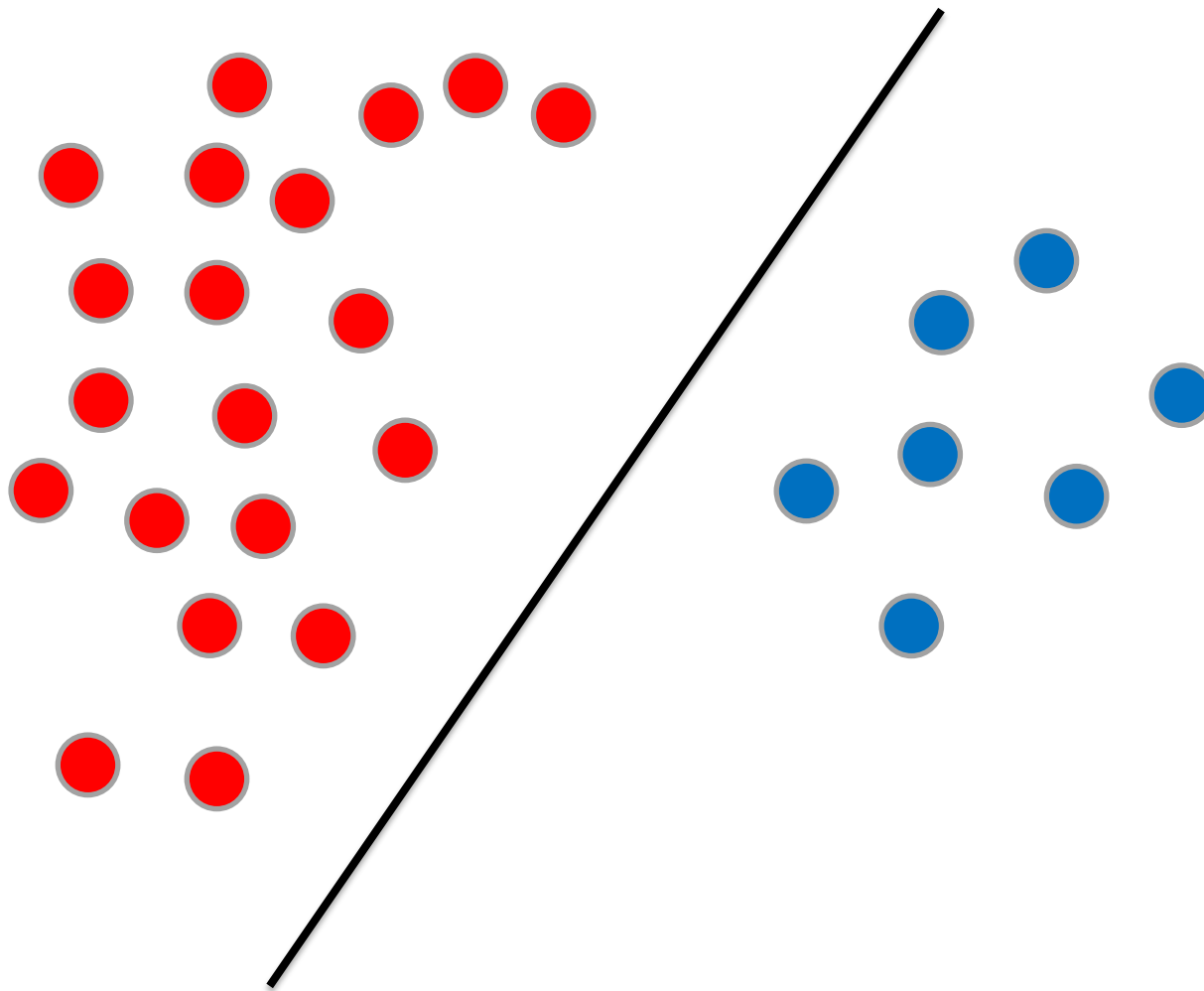
- Геологические данные – ищем золото
- Компьютерное зрение – распознавание чего-то на картинках
- Военная оборона – птица или ракета?
- Рекомендательные системы на сайтах
- Медицина – наличие болезни по симптомам
- Прогнозирование пробок
- Распознавание сигналов головного мозга
- Сайт научных статей - категоризация текстов
- Кредитный скоринг – надежность клиентов банка
- И еще очень много чего...

Лекция 2

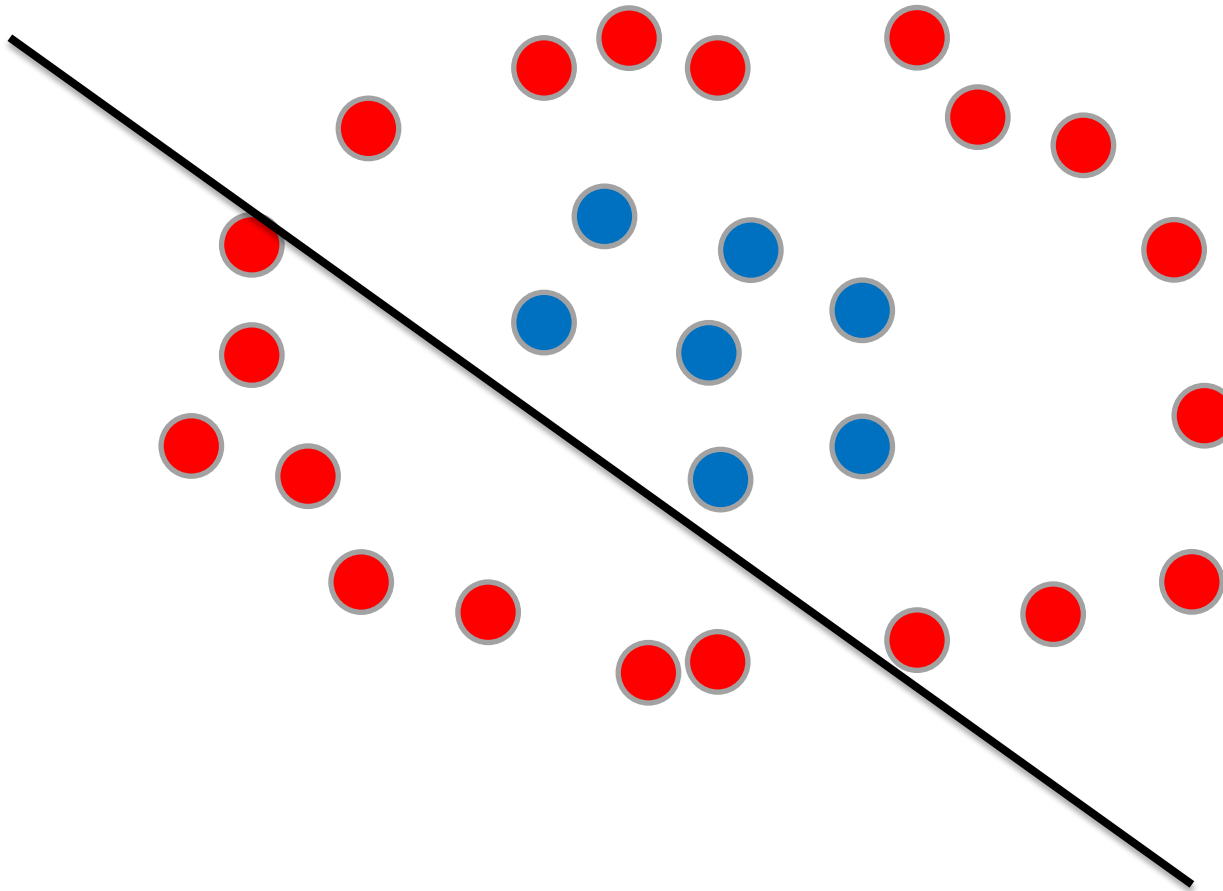
Часть 6

Линейные классификаторы

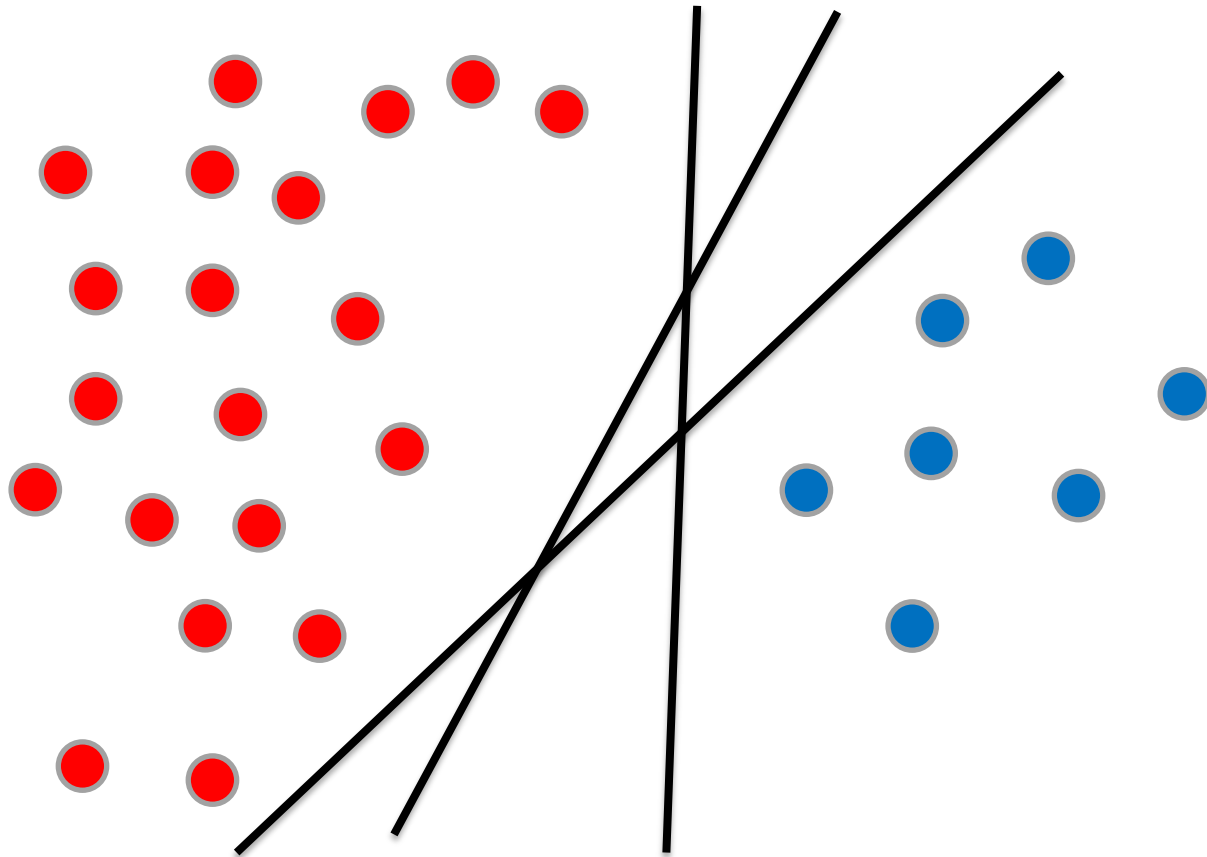
Пусть граница – прямая



Иногда прямая плохо помогает

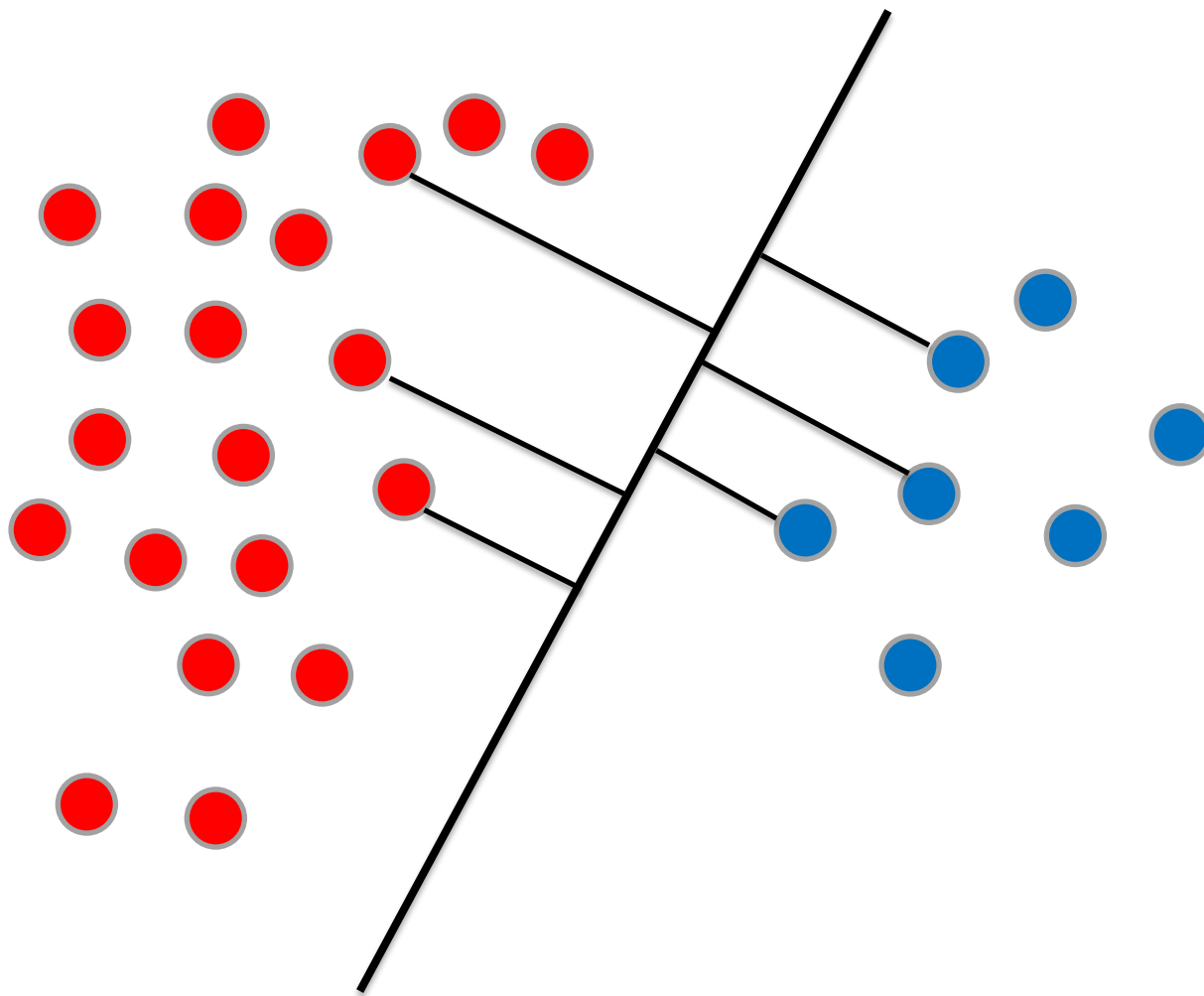


Есть много способов провести
прямую

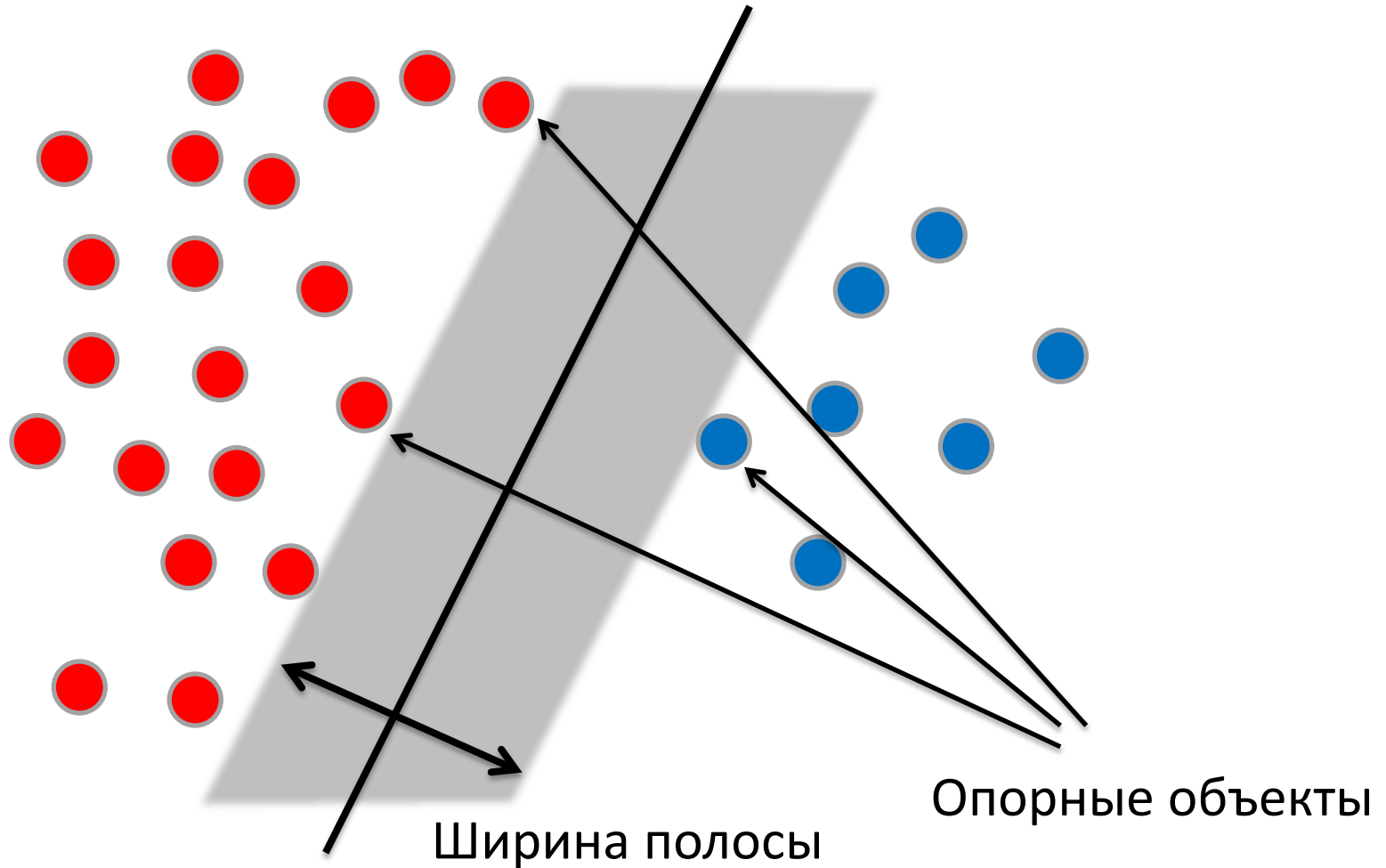


Какая прямая лучше?

Идея: отступы должна быть
максимальна

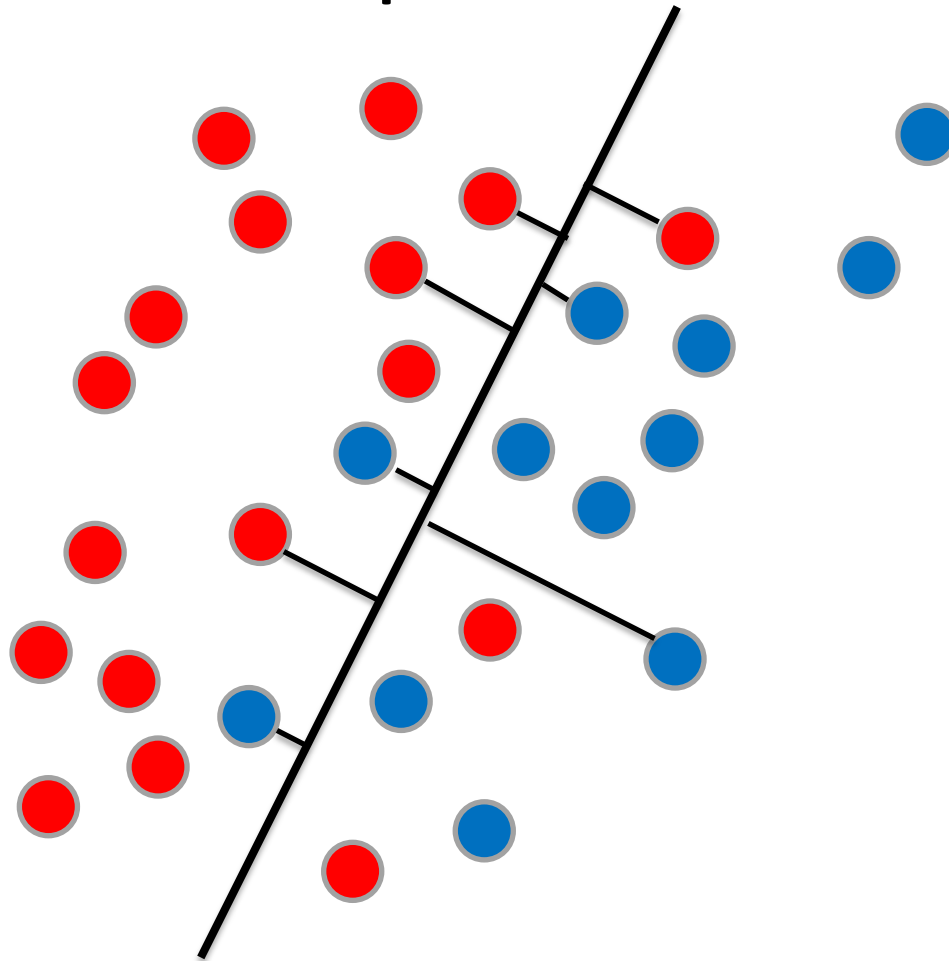


Другая идея: строить самую
широкую полосу, и ее центр –
нужная прямая



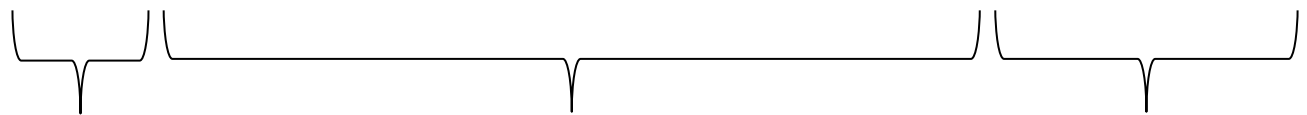
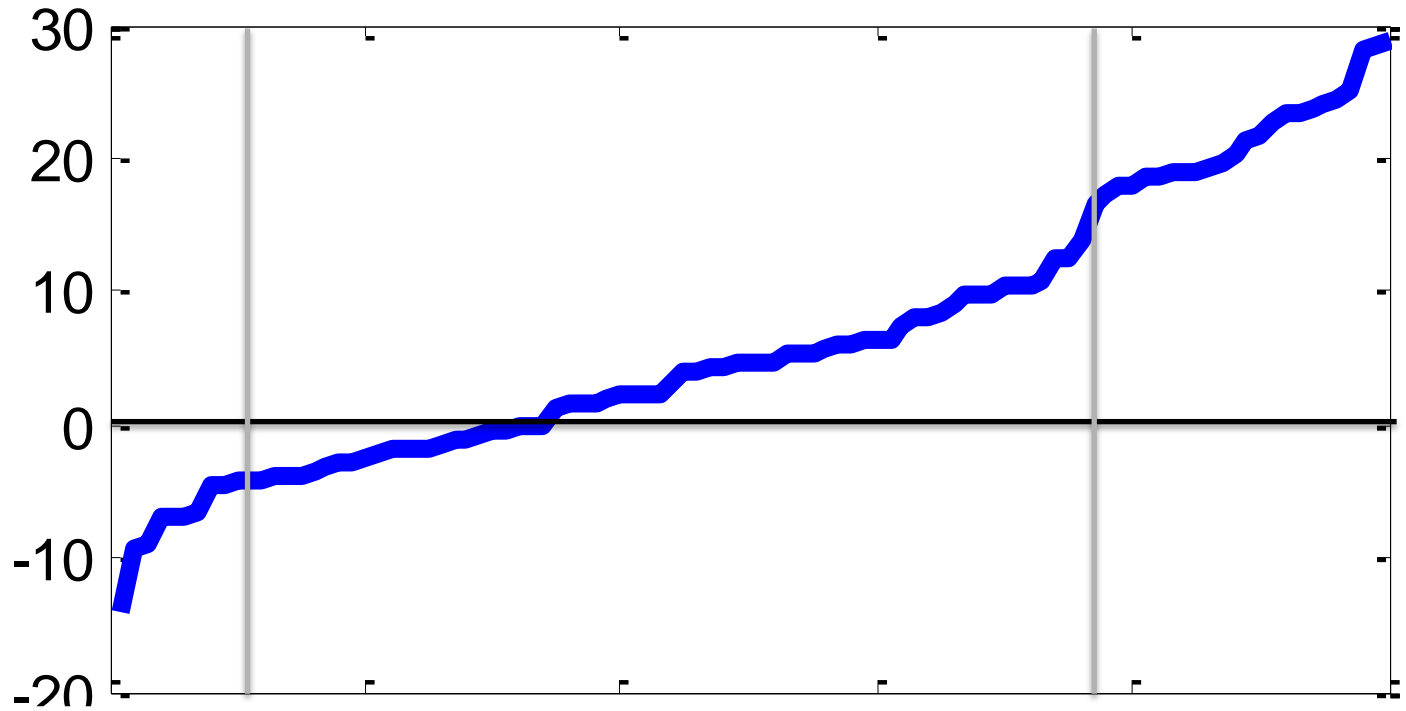
Оказывается, максимизация отступов
эквивалентна максимизации ширины
разделяющей полосы!

Если объекты расположены хуже



Отступы могут быть отрицательными! А это и не плохо :)

Отсортируем значения отступов



Шум

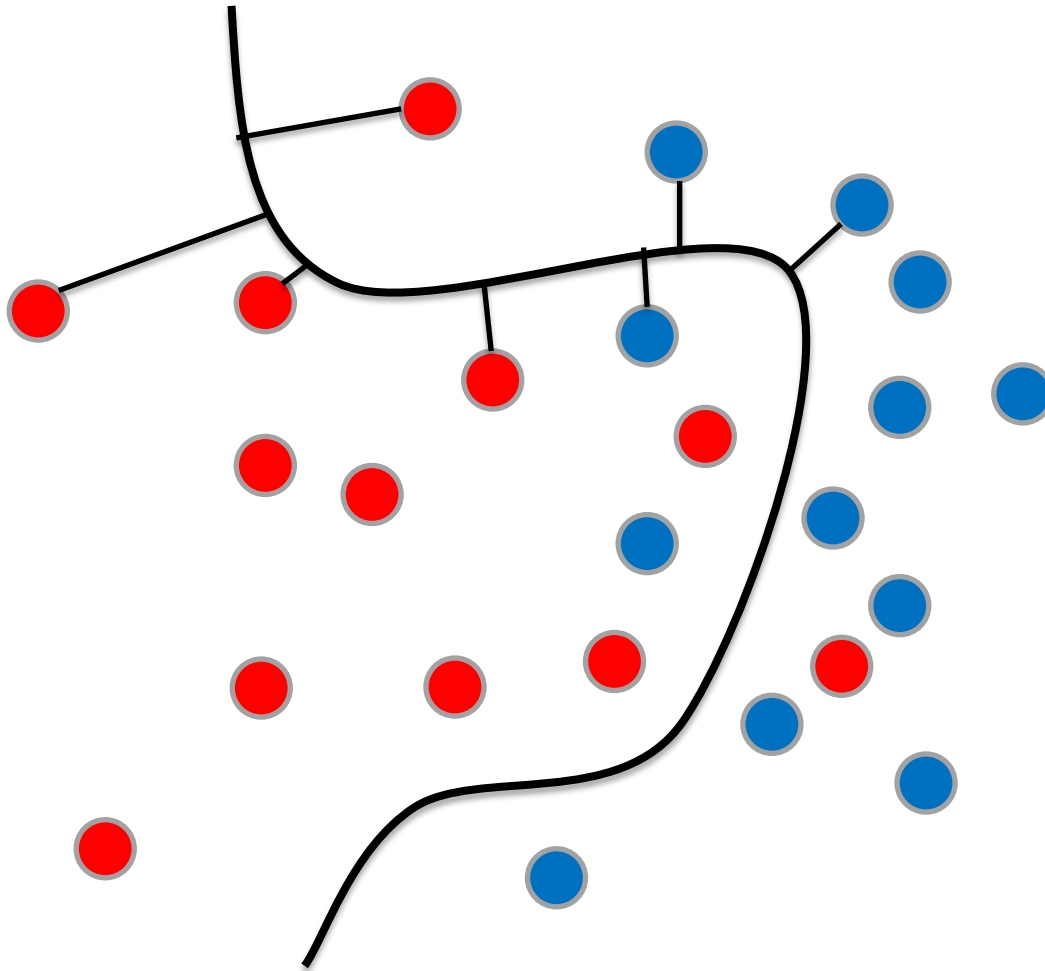
Пограничные объекты
Учитываем только их!

Уверенные
объекты

Метод опорных векторов

- Основан на принципе максимизации отступов
- Математически точно вычислен
- Использует только часть объектов, т.н. «опорные векторы»

Максимизация отступов для сложной границы



Гиперплоскости в многомерных пространствах

- В двумерном случае – прямая, в трехмерном – плоскость, дальше – гиперплоскость
- Главное, что она линейна и делит все пространство на два полупространства
- Метод опорных векторов умеет строить гиперплоскости

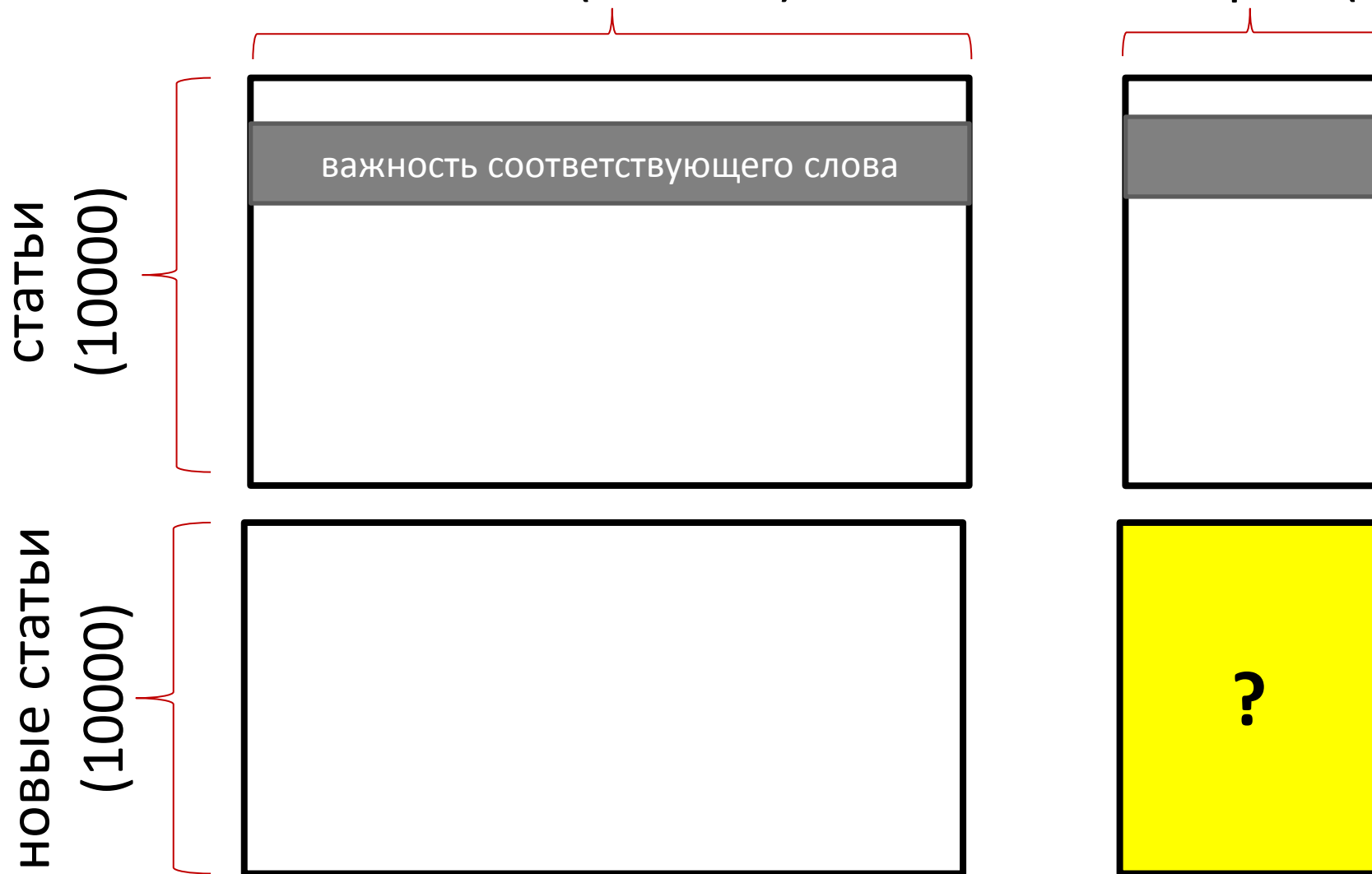
Часть 7

Категоризация текстов

Обучающая выборка

слова (~25000)

категории (83)



Начнем решать

- Будем рассматривать каждую из 83 категорий отдельно, т.е. по сути решим 83 отдельных задачи классификации
- Размерность пространства значительно больше количества объектов, т.е. разделяем линейно
- Используем метод опорных векторов!

Результат

- Оказывается, даже такое элементарное, грубое и общеизвестное решение приводит к высоким позициям в таблице результатов соревнования

Еще несколько мыслей:

- Часто полезно отбросить частые и редкие слова
- Разумно объединять признаки
- Популярные методы в задачах про тексты:
 - ближайший сосед
 - линейные алгоритмы
 - вероятностные соображения

Часть 8

Распознавание пешеходов на
изображениях

Учимся распознавать пешеходов



Исходная постановка задачи

- Дан набор фотографий (250 штук)
- Для каждой фотографии известны координаты кусочков, в которых содержатся пешеходы
- Надо распознать пешеходов на новых изображениях
- Обнаружение считается верным, если оно совпадает с настоящим хотя бы на 50 процентов площади

Небольшое упрощение

- Все фотографии имеют высоту 200 пикселей
- Все пешеходы имеют размер 200 на 80 пикселей

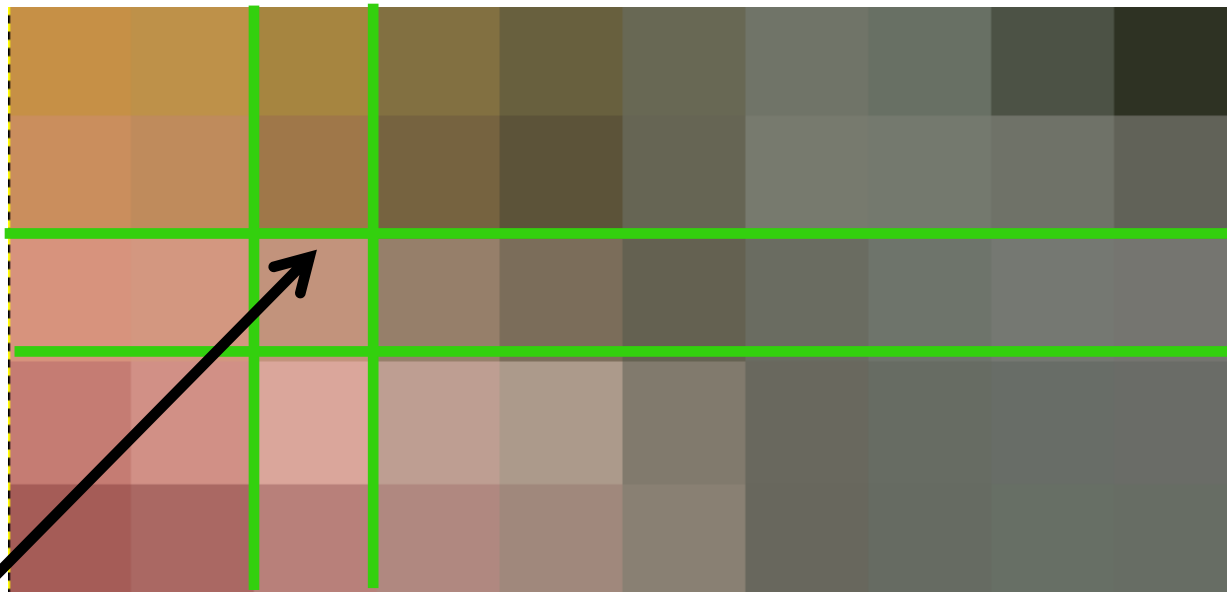


Приведем задачу к стандартному виду

- Объекты: картинки размера 200×80
- Два класса: пешеход и фон (не пешеход)
- Обучающая выборка: картинки с пешеходами и картинки с фоном, вырезанные из предоставленных фотографий
- Признаки объектов – их пока нет! Как по картинке получить характеризующий её набор чисел?

Что такое изображение?

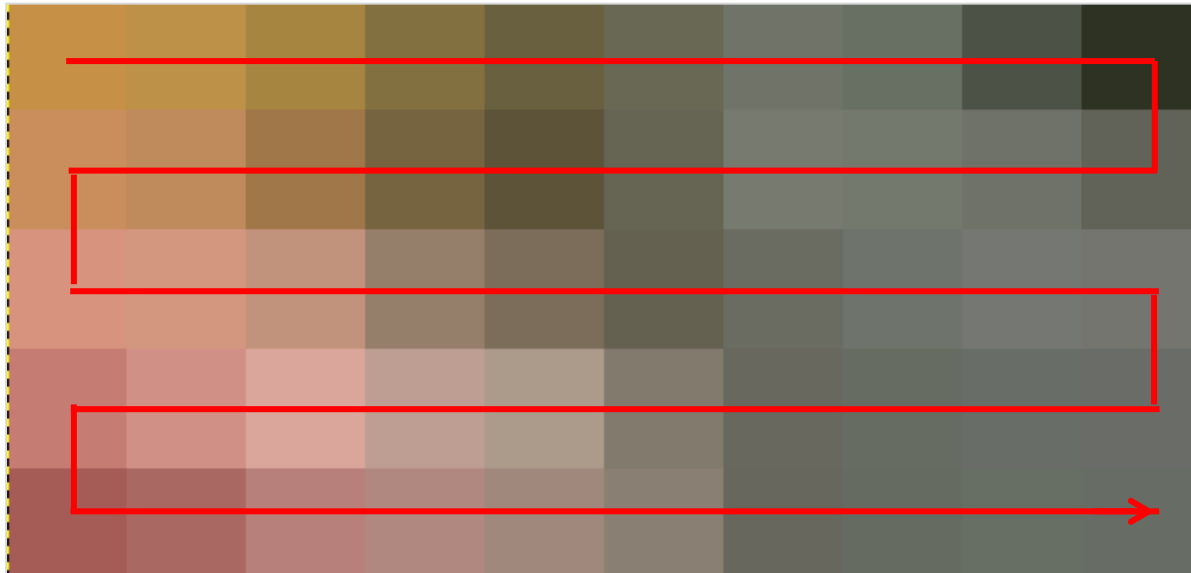
- Матрица пикселей
- Каждый пиксель имеет свой цвет (число)



Число, кодирующее цвет

Первая идея:

- развернуть матрицу пикселей в одну строчку и использовать это как набор признаков

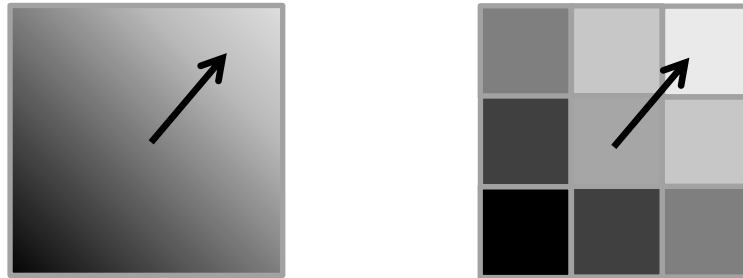


Получится плохо. Почему?

- Цвета мало о чем говорят – важнее граница!
- Человеческий мозг в основном анализирует именно её.



Вектор изменения яркости



- В каждой точке картинки можем найти направление, в котором быстрее всего увеличивается яркость
- Чтобы посчитать вектор для конкретного пикселя, потребуются его соседи

Будем использовать такие векторы в качестве признаков

- В каждом пикселе находим вектор изменения яркости (направление и длина)
- Получается матрица из направлений (т.е. чисел от 0 до 2π) и длин
- Разворачиваем матрицу, как мы это уже делали раньше

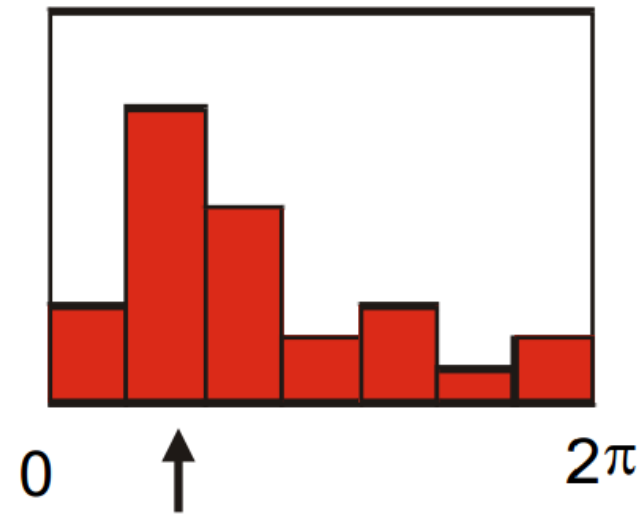
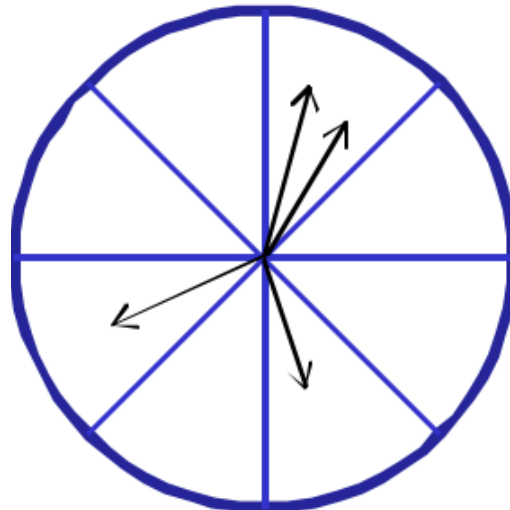
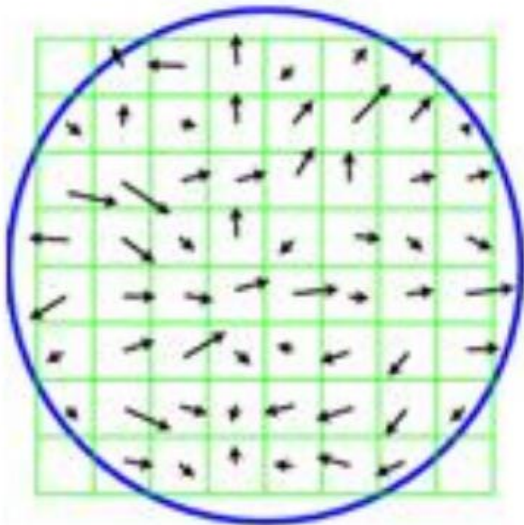
Все опять плохо!

В чем дело?

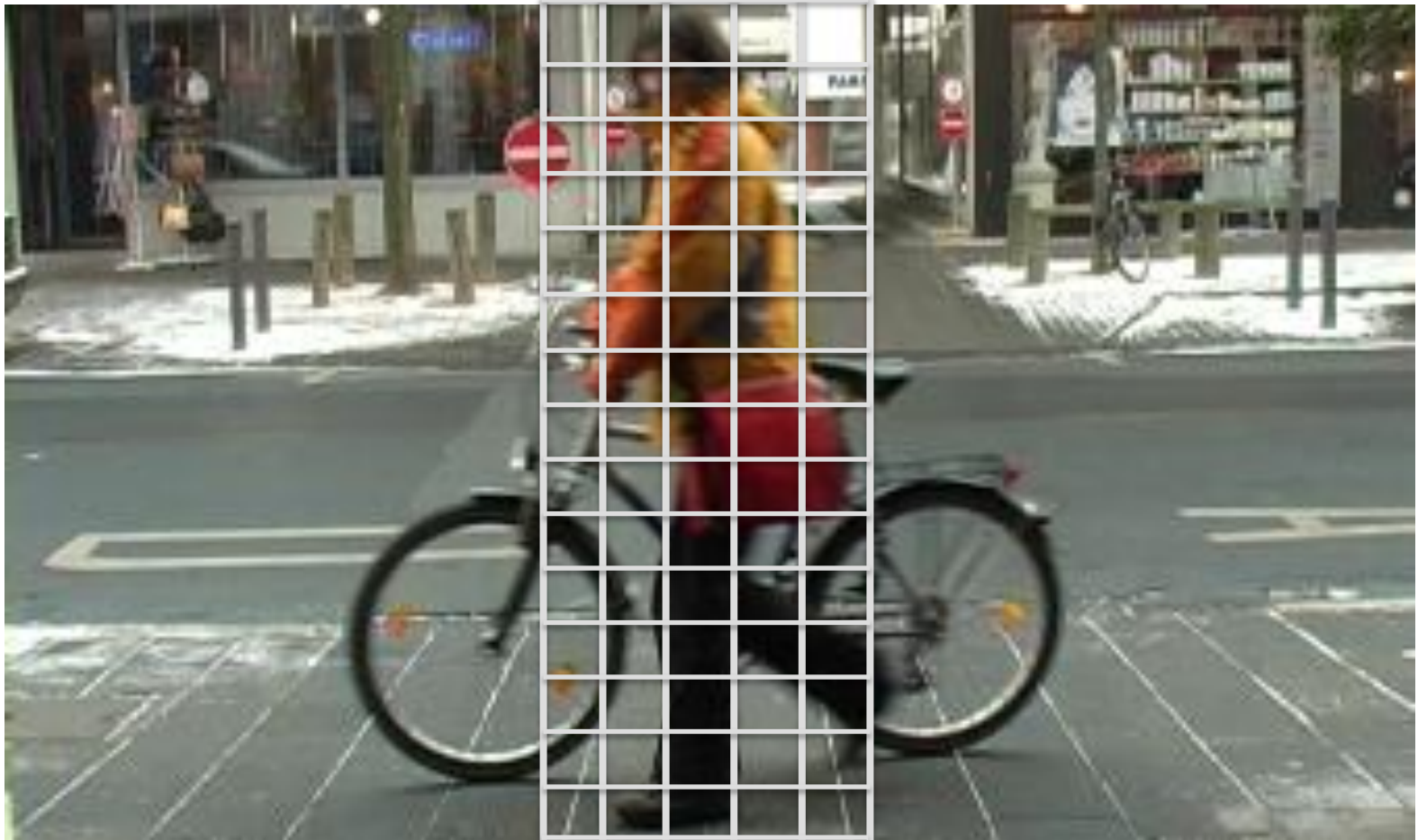
- Значения признаков сильно изменятся, если пешеход сдвинется хотя бы чуть-чуть
- Мы получим огромное количество признаков (2^* число пикселей)
- Как учесть векторы изменения яркости в пикселях хитрее?

Идея!

- Делим промежуток от 0 до 2π на несколько участков (пусть 8)
- В каждой точке определяем, какому участку принадлежит направление, и увеличиваем нужный столбик. Получается гистограмма.



Итак:



Мы научились искать признаковое описание картинки:

- Делим картинку на много небольших квадратов (N штук)
- Для каждого квадрата строим гистограмму направлений – это 8 чисел
- Разворачиваем все в строчку – получаем $8 * N$ чисел

Преимущества метода:

- Признаковое описание не изменится, если пешеход чуть-чуть сдвинется или повернется
- Так как производится усреднение по нескольким пикселям, сама собой будет примерно учитываться длина вектора
- Признаков становится значительно меньше

Вернемся к задаче. Схема решения:

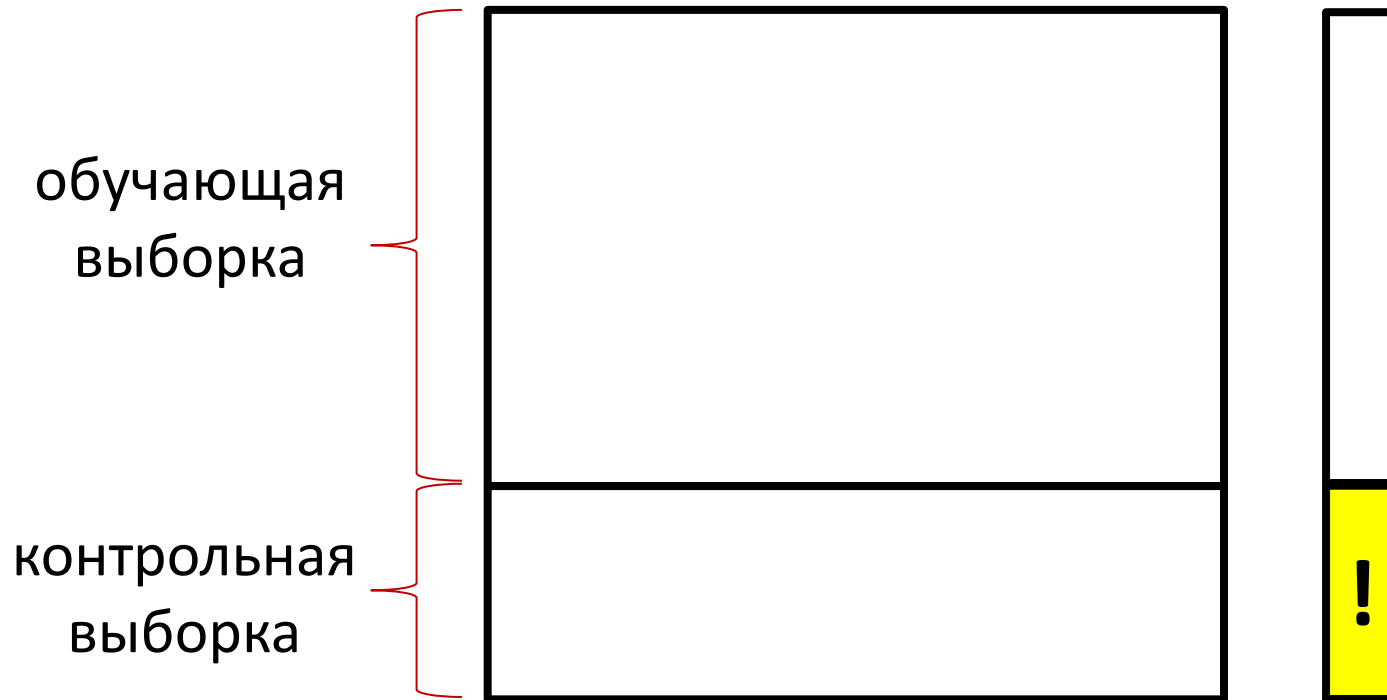
- Предобработка данных: научиться для картинки 200×80 определять признаки, т.е. характеризующий её набор чисел
- Задача классификации: построить алгоритм, относящий каждую картинку к классу пешеходов или фона
- Визуализация: пробежать по всем кусочкам 200×80 новых изображений, если алгоритм относит его к классу пешеходов, то обвести в рамку

Как будем решать задачу классификации?

- Опять объектов мало, а признаков много
- Попробуем применить метод опорных векторов

Проверка качества

- Качество – насколько хорошо работает алгоритм на контрольной выборке



Качество в нашей задаче



Качество в нашей задаче

- Полнота – число правильно найденных классификатором пешеходов / настоящее число пешеходов
- Точность – число верных обнаружений / общее число обнаружений

Неплохо!

- Полнота: 96 %
- Точность: 78 %
- Посмотрим, как работает реальная программа

Что можно предпринять?

- Подавление повторных выделений



Как это сделать?

Жадный алгоритм:

- ищем на изображении картинку с максимальным отступом, относим её к классу пешеходов, отступы для всех «соседних» картинок зануляем
- так продолжаем, пока максимальный отступ картинок не станет меньше порога

Выбор примеров фона

- Проблема: фон очень разнообразен, какие примеры фона выбрать?
- Идея:
 - изначально выбрать лишь несколько примеров
 - обучиться на них
 - применить алгоритм ко всем картинкам из данных фотографий
 - добавить в обучающую выборку картинки, на которых алгоритм ошибся
 - и так далее

Оказывается, две абсолютно
разных задачи решаются
одинаковыми методами!

Часть 9

Идеи, взятые из биологии

Линейный классификатор на плоскости

- Формула прямой на плоскости:

$$ax + by + c = 0$$

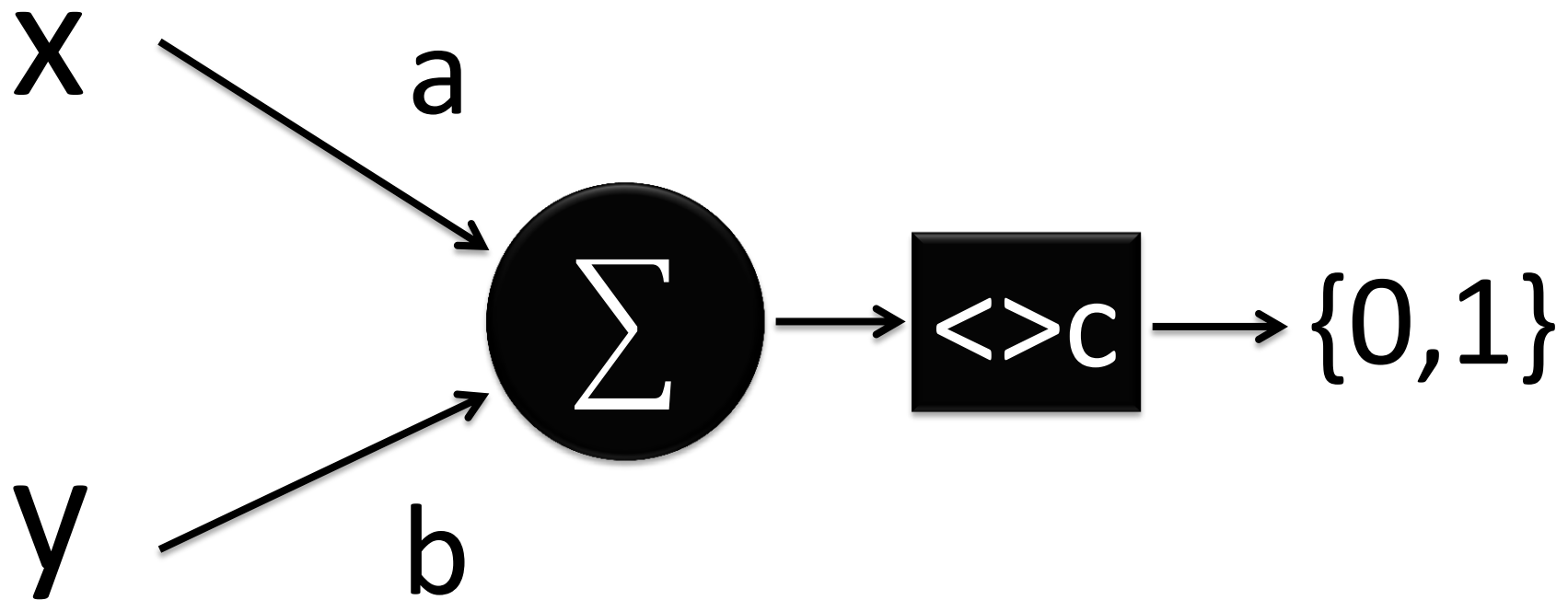
- Результат линейного классификатора – знак выражения

$$ax + by + c$$

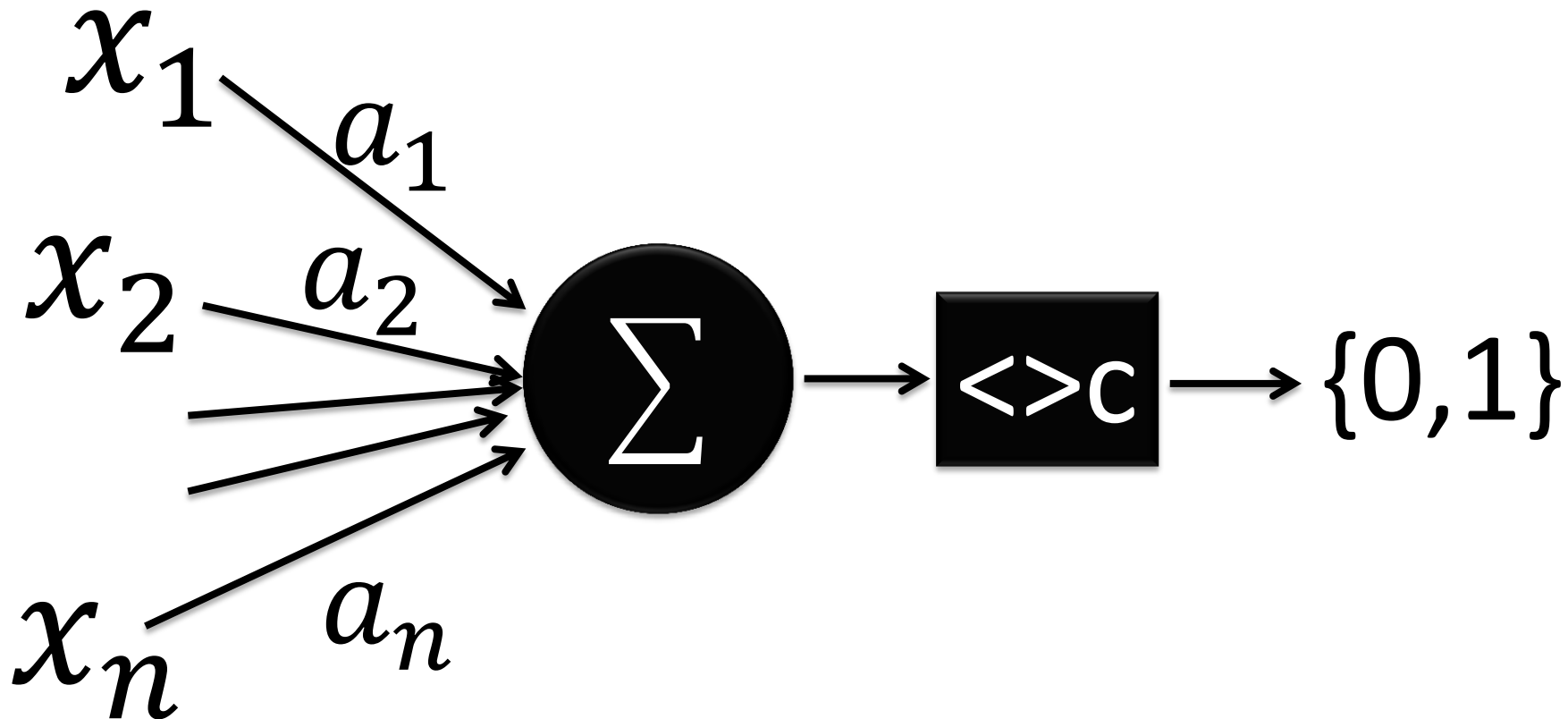
- По сути мы сравниваем выражения

$$ax + by <> c$$

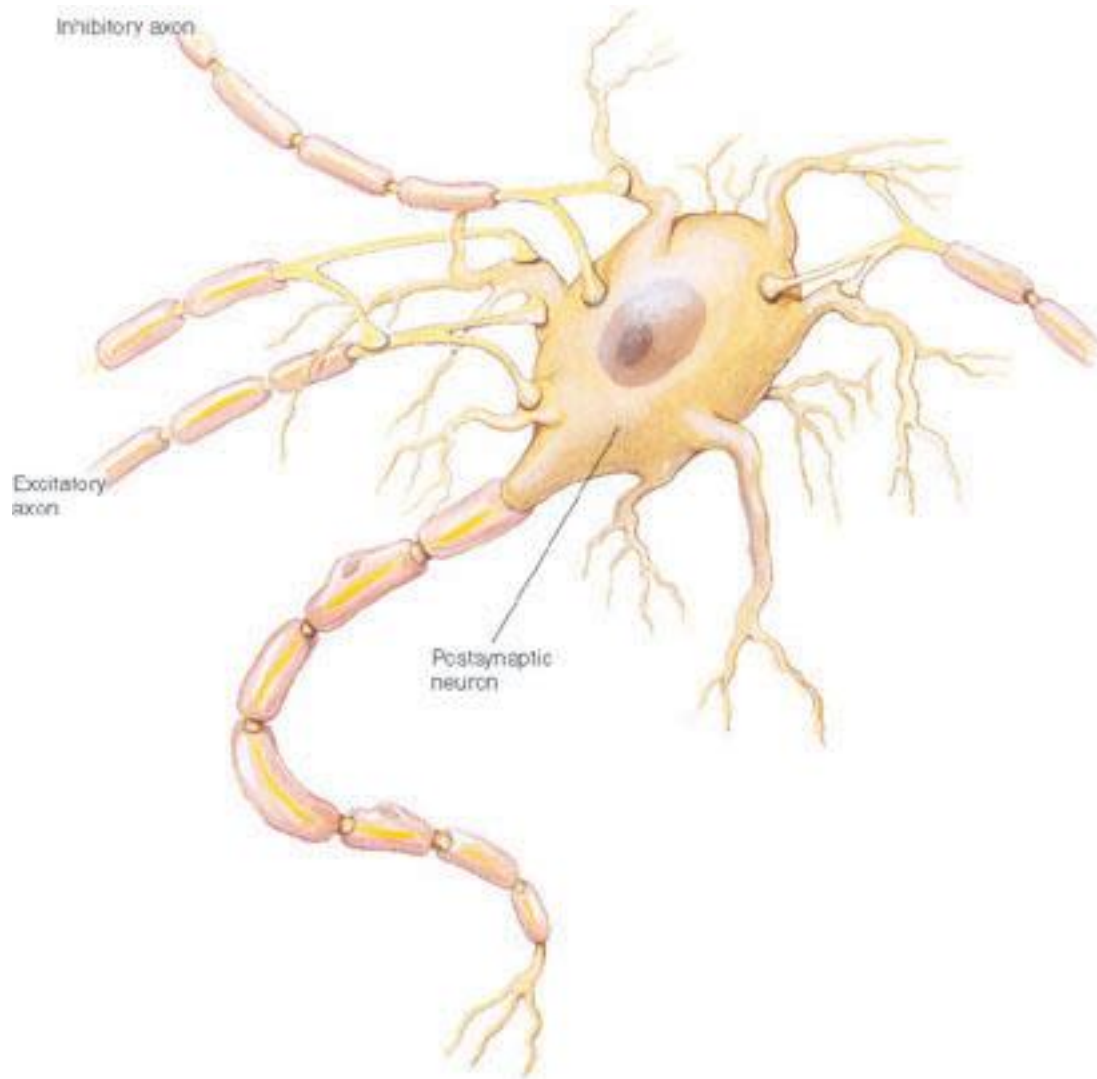
Представим в виде схемы



Аналогичная схема для гиперплоскости



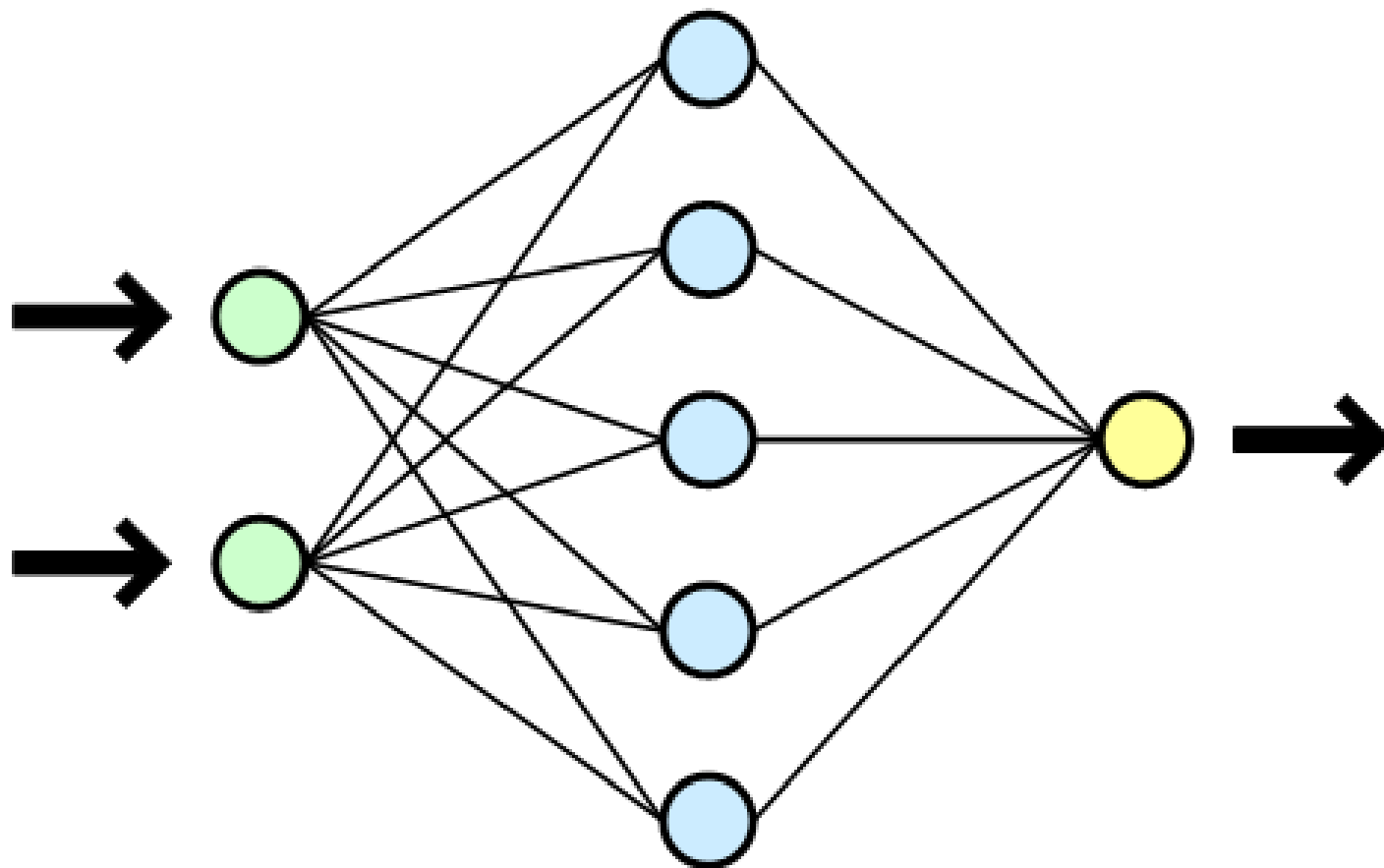
Нейрон в биологии



Биологическая нейронная сеть



Искусственная нейронная сеть



Нюансы

- Нейронная сеть из двух слоев умеет строить любые сложные границы, т.е. двух слоев часто теоретически достаточно
- У человека слоев тоже немного (~10)
- Есть итерационные алгоритмы обучения сети
- Какие же у нее недостатки?

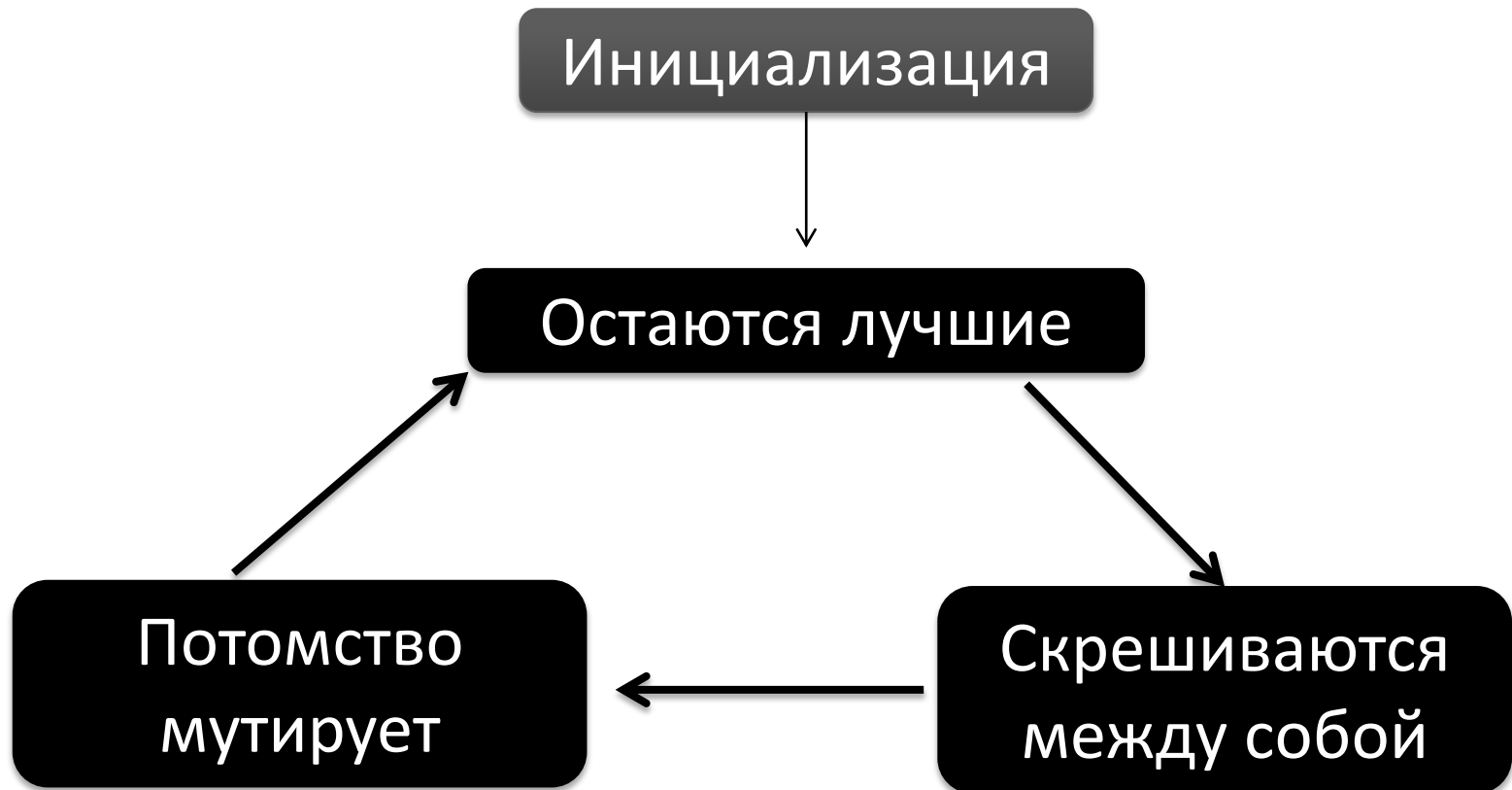
Недостатки нейронных сетей

- Алгоритм обучения может застопориться (так называемый «паралич» сети)
- Нейронная сеть часто очень сильно переобучается
- Не интерпретируема человеком
- Еще раз подтверждается разумность идеи максимизации отступов

Другой принцип из биологии: естественный отбор

- Слабые (плохие) индивиды умирают, не оставляя потомства
- Сильные (хорошие) индивиды выживают, скрещиваются, оставляют похожее на себя ПОТОМСТВО

Генетический алгоритм



Генетическое построение машинок

<http://megaswf.com/file/1006490>

Лекция 3

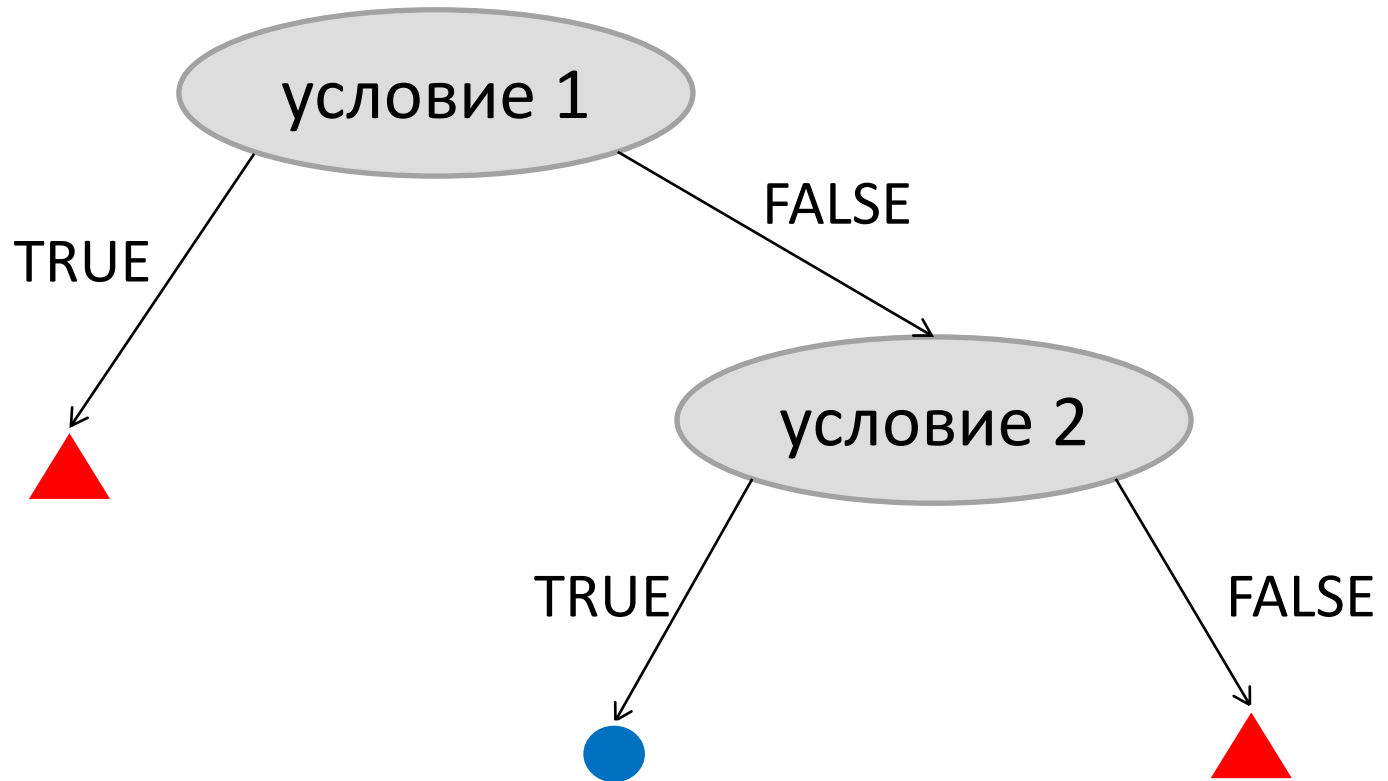
Часть 10

Решающие деревья и композиции
алгоритмов

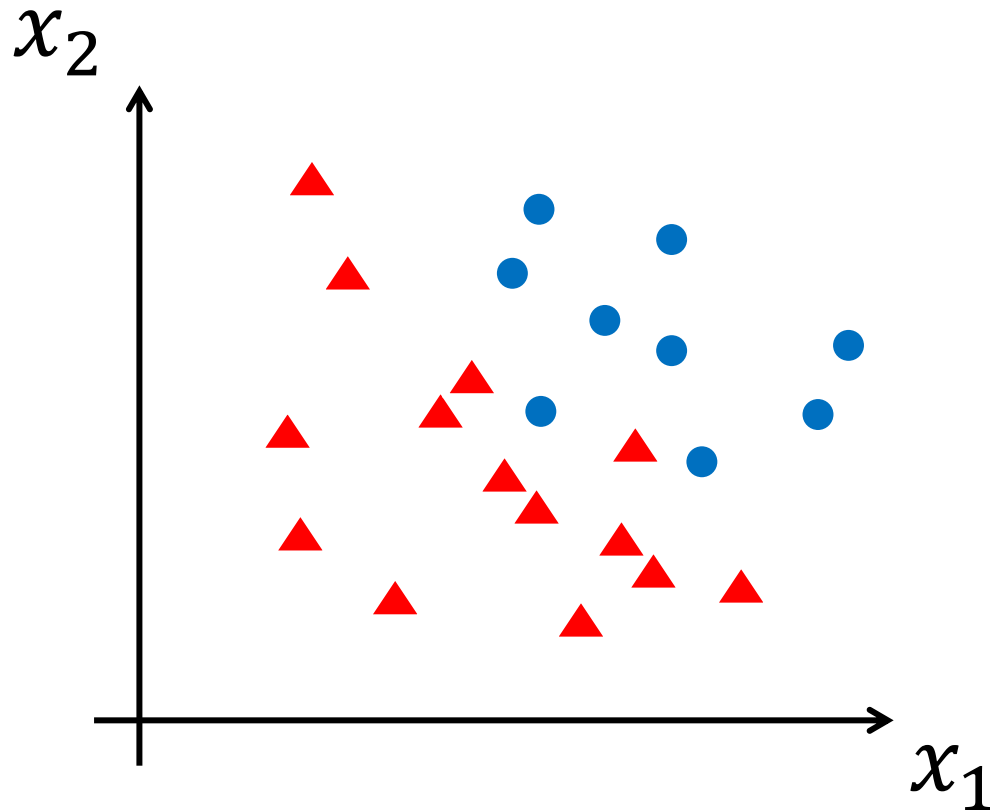
В чем проблемы?

- Правила составлялись вручную экспертами
- Мнения экспертов расходятся
- Эксперты могут ошибаться
- Эксперт не в состоянии проанализировать все данные

Построим дерево автоматически



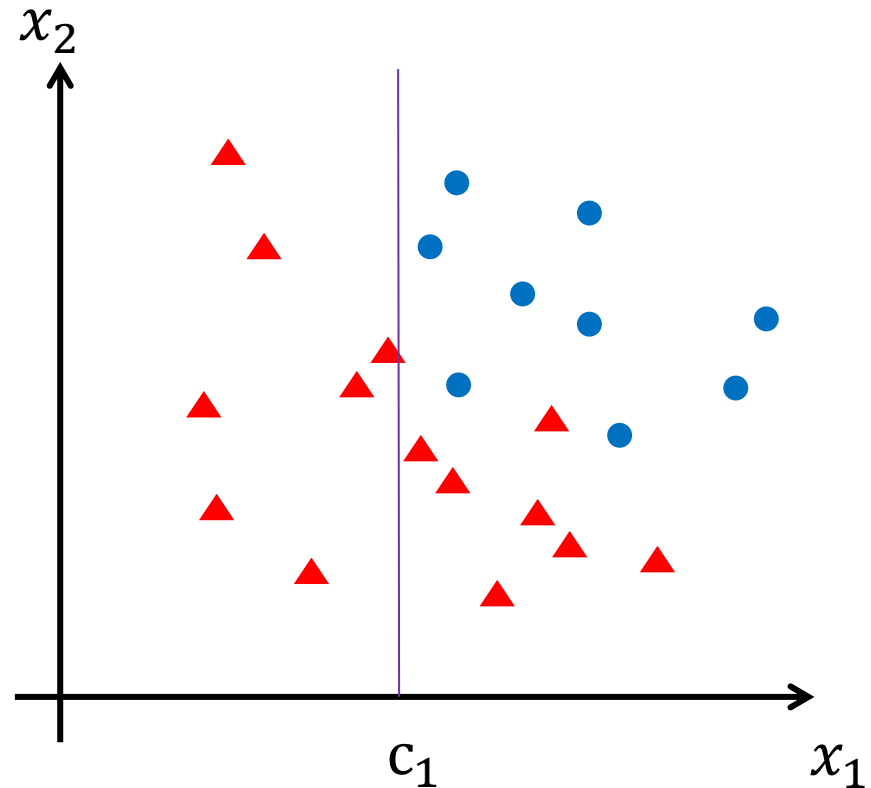
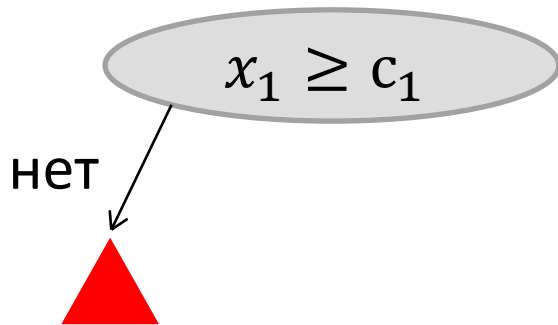
Какие условия будут в дереве?



Попробуем использовать пороговые условия перехода
в виде пороговых правил: $x > c$

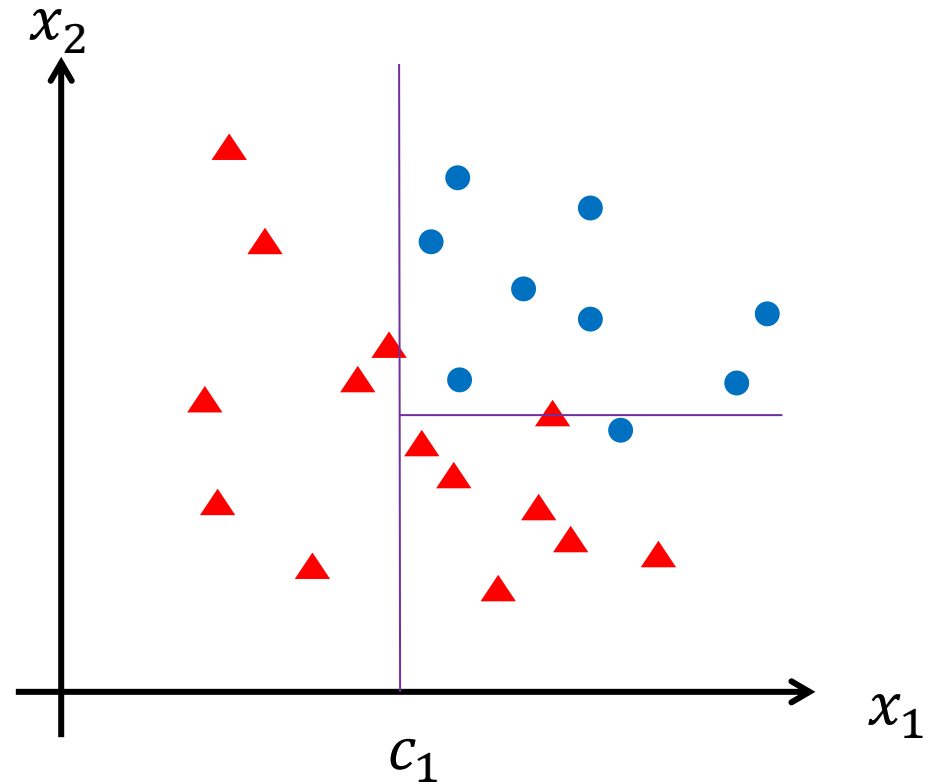
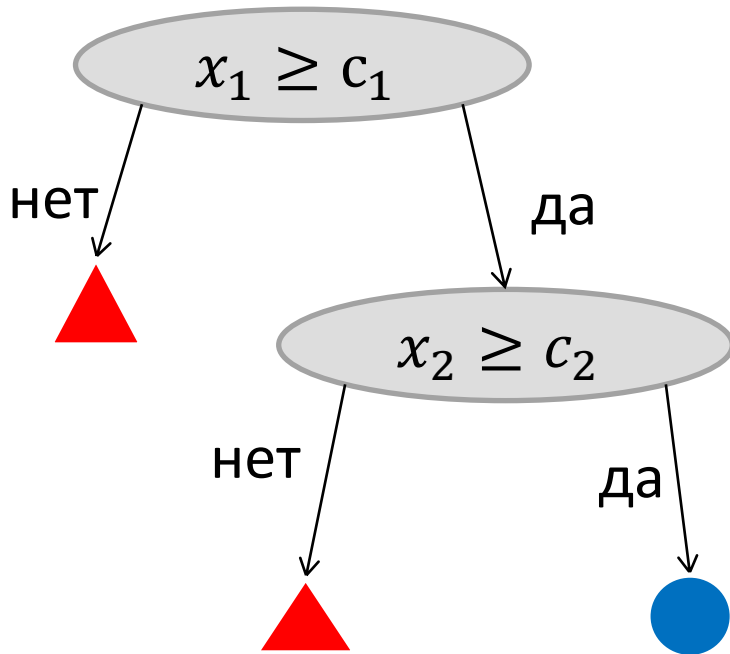
Начнем строить дерево

- Будем действовать жадно
- Каждый раз берем наиболее «информативное» разделение всей области



Строим дерево

Каждый раз берем наиболее «информативное»
разделение текущей области



Как выбирать условия?

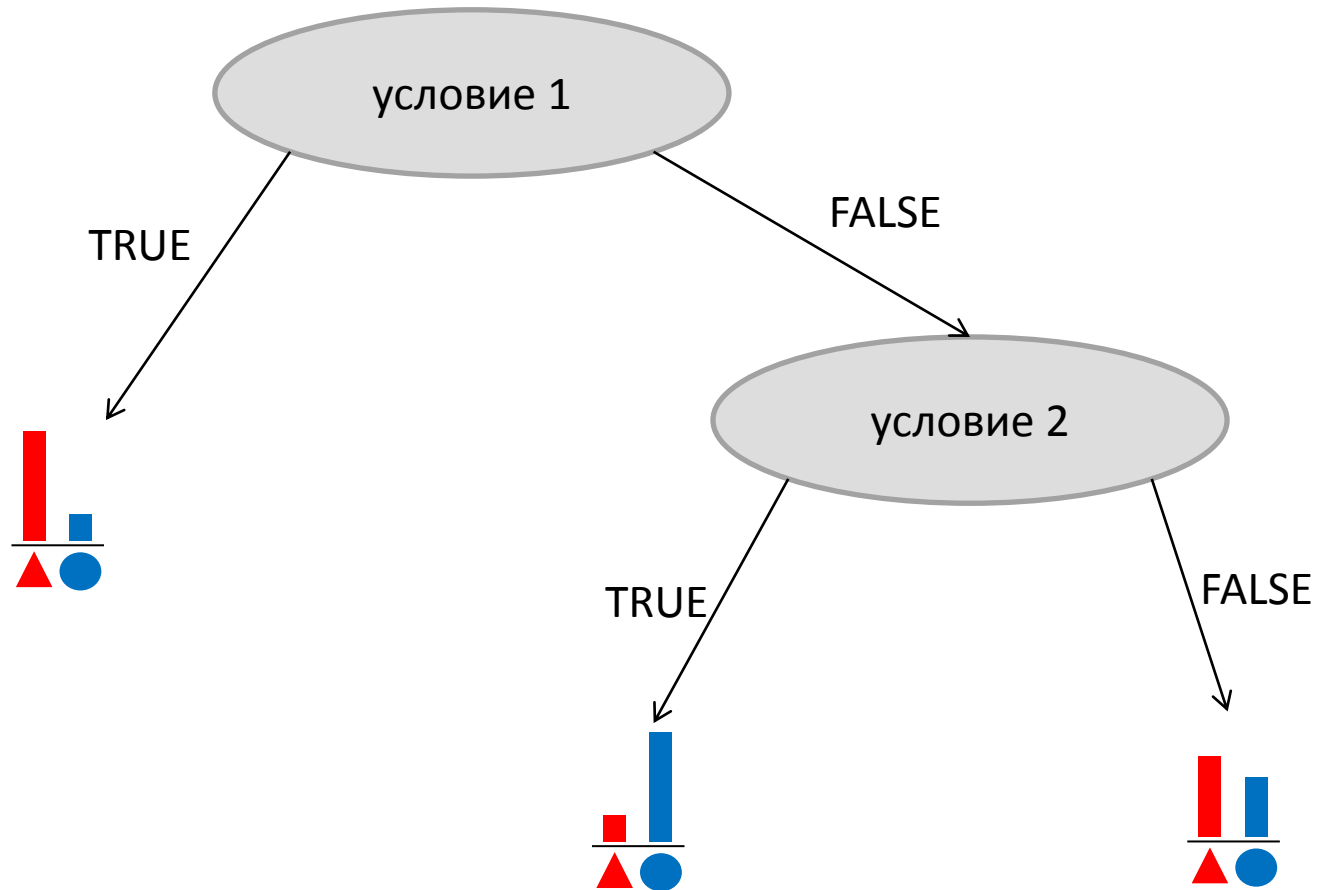
Лучшее разбиение:

- Отделить один класс как можно сильнее
- Максимизируем число пар объектов, у которых одинаковый класс и одинаковый ответ на условие – критерий Джини
- Максимизируем число пар объектов, у которых разный класс и разные ответы на условие – критерий Донского
- Объединяем предыдущие
- Более сложные вероятностные соображения

Улучшения

- Если информативность условия меньше порога, то прекращаем строить дерево
- Разбиваем обучение на две части. Пробегаем по всем поддеревьям и заменяем их левым или правым потомком, если они допускают заметно меньше ошибок

Будем возвращать вещественную степень принадлежности классу



Композиция алгоритмов

- Пусть есть какой-то набор из T алгоритмов:

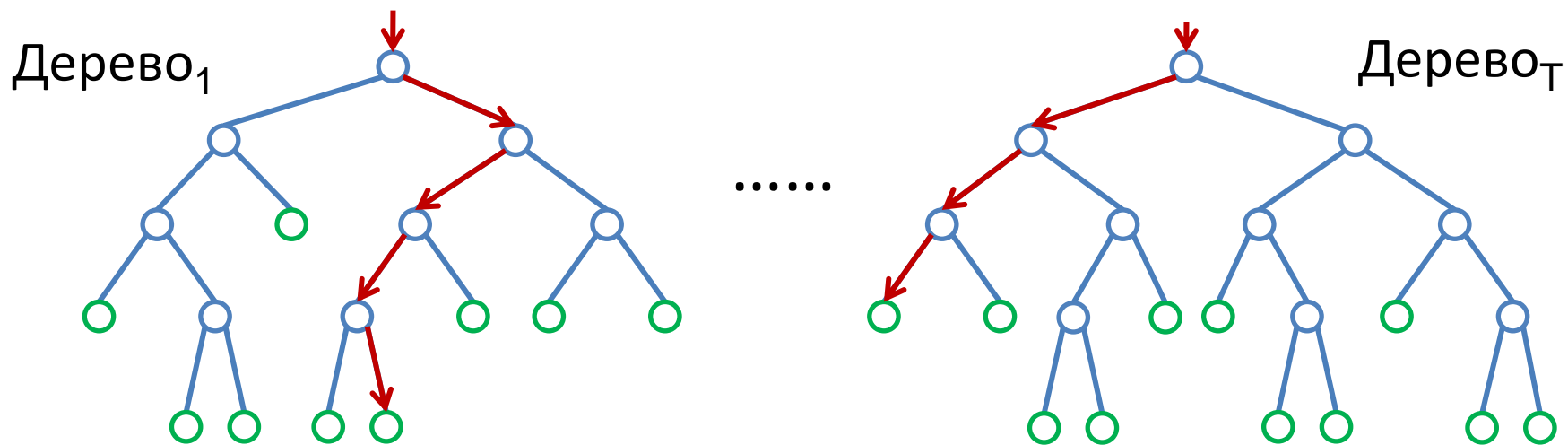
$$a_1, a_2, a_3, \dots, a_T$$

- Финальный алгоритм:

$$result := \frac{1}{T} \sum_{t=1}^T a_t$$

Случайный лес

Построим композицию из решающих деревьев

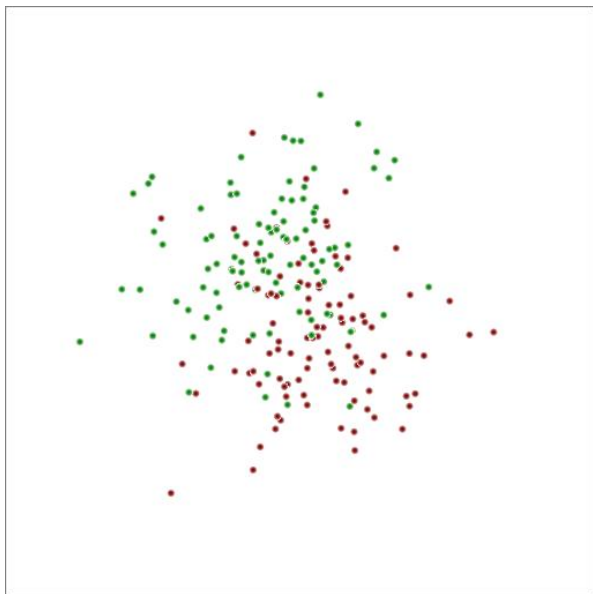
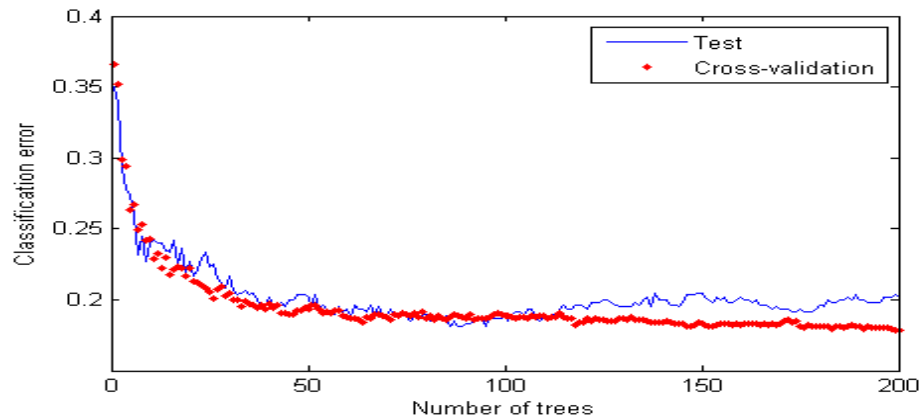


Как сделать деревья существенно разными?

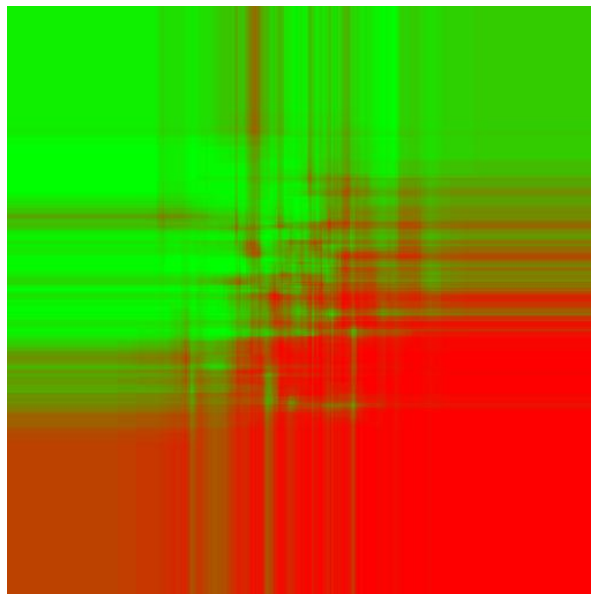
Используем случайные подвыборки данных

- Выберем произвольные объекты из обучающей выборки
- Обучимся по ним, получим первый алгоритм
- Опять выберем произвольные объекты (возможно, те же)
-
- Получаем набор деревьев, из них построим композицию

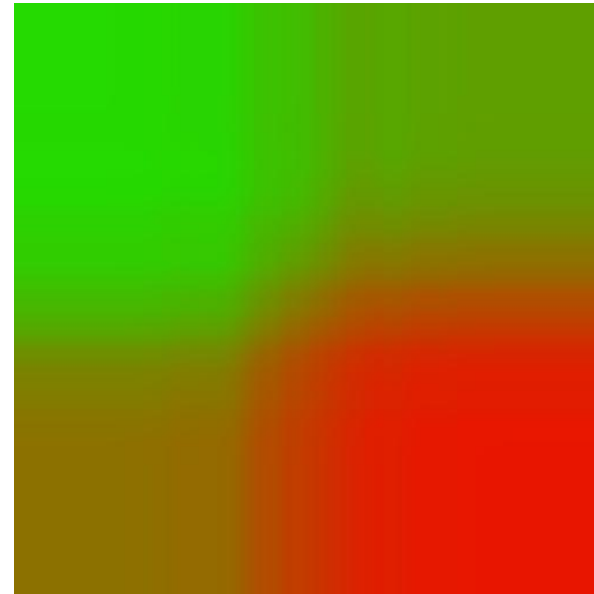
Как работает случайный лес?



данные



Вероятностные выходы в признаковом пространстве



Очень много деревьев (2000)

Особенности случайного леса

- Работает с любыми видами признаков
- Общепризнанно лучший алгоритм классификации
- Тяжело интерпретируется человеком
- Долго строится

Подбор коэффициентов

- Финальный алгоритм:

$$result := \sum_{t=0}^T w_t a_t$$

- Это же уравнение гиперплоскости!
Применим метод опорных векторов для новых признаков и найдем оптимальную плоскость

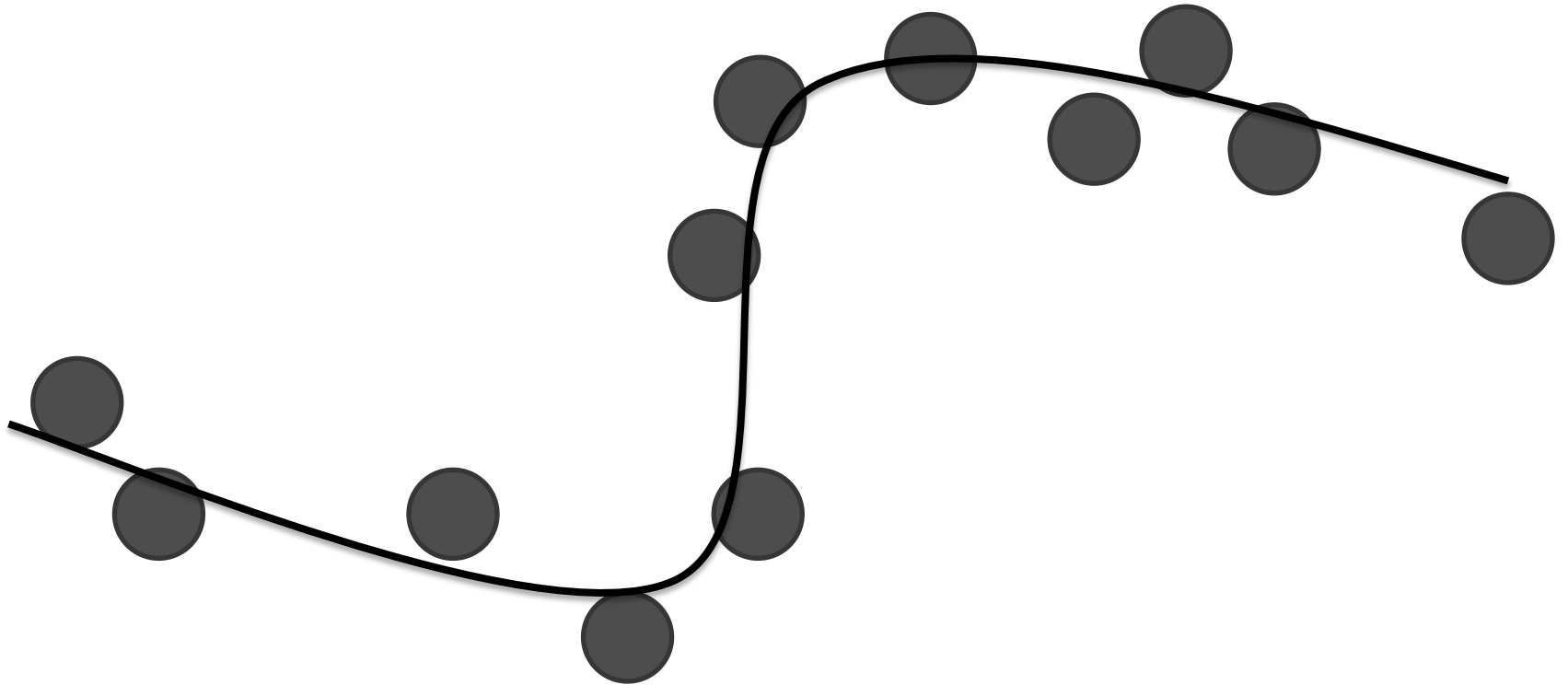
Умный подсчет весов и коэффициентов

- Произвольное выбрасывание объектов равносильно присваиванию объектам весов 0 и 1
- Можно считать веса умнее
- Строим алгоритмы по очереди так, чтобы следующий старался максимально исправить ошибки всех предыдущих

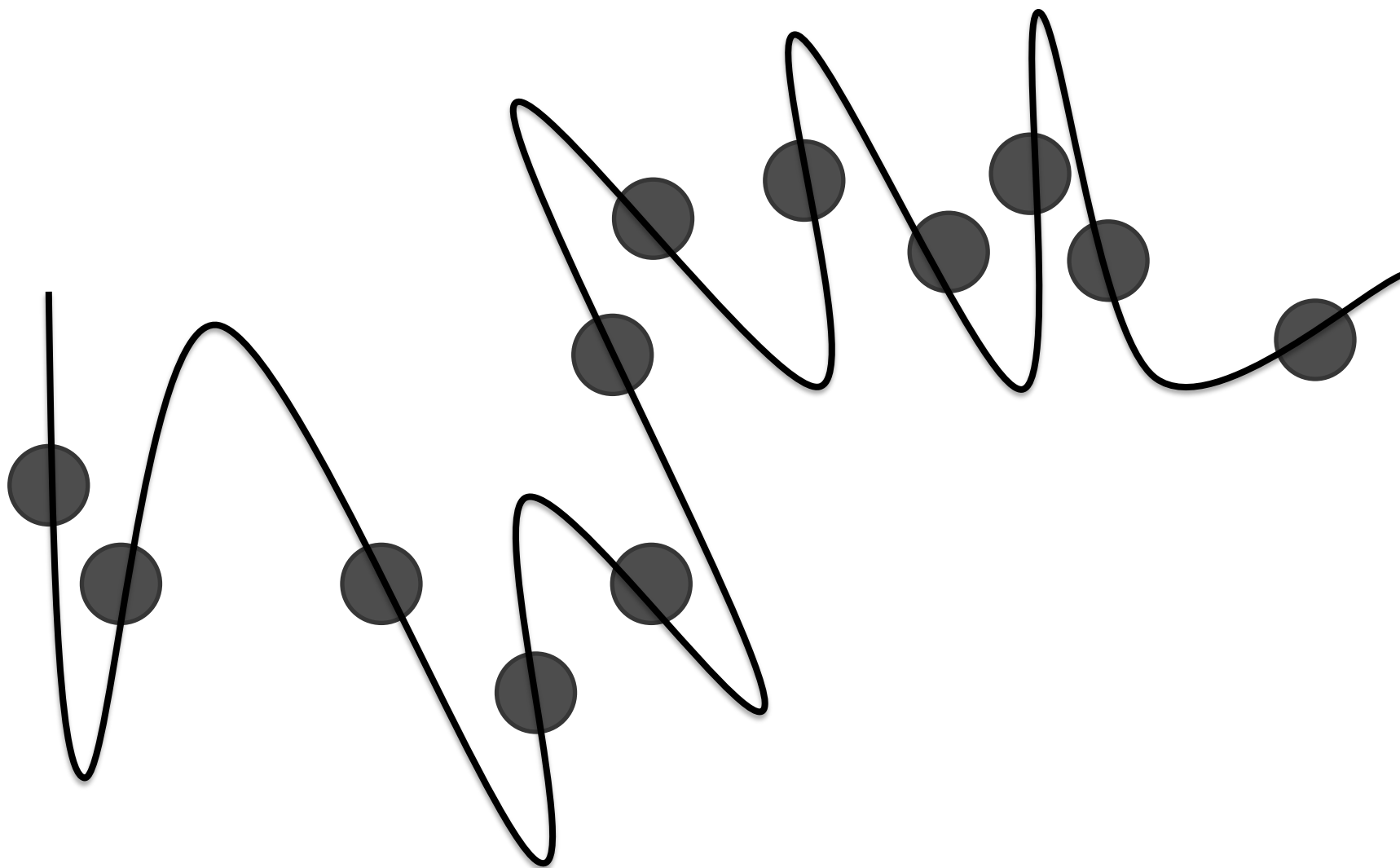
Часть 11

Регрессия

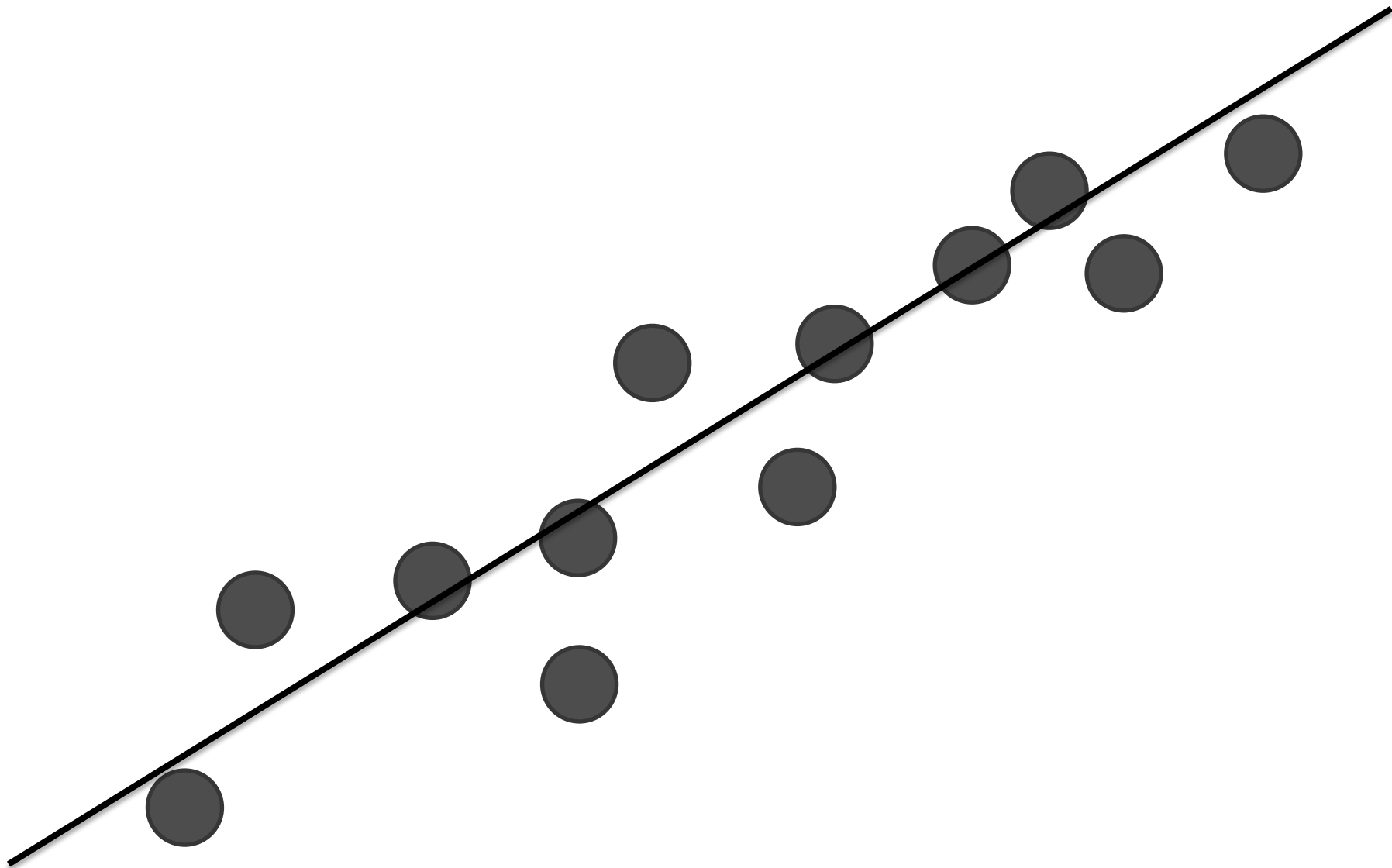
Хотим восстановить кривую



Переобучение в регрессии

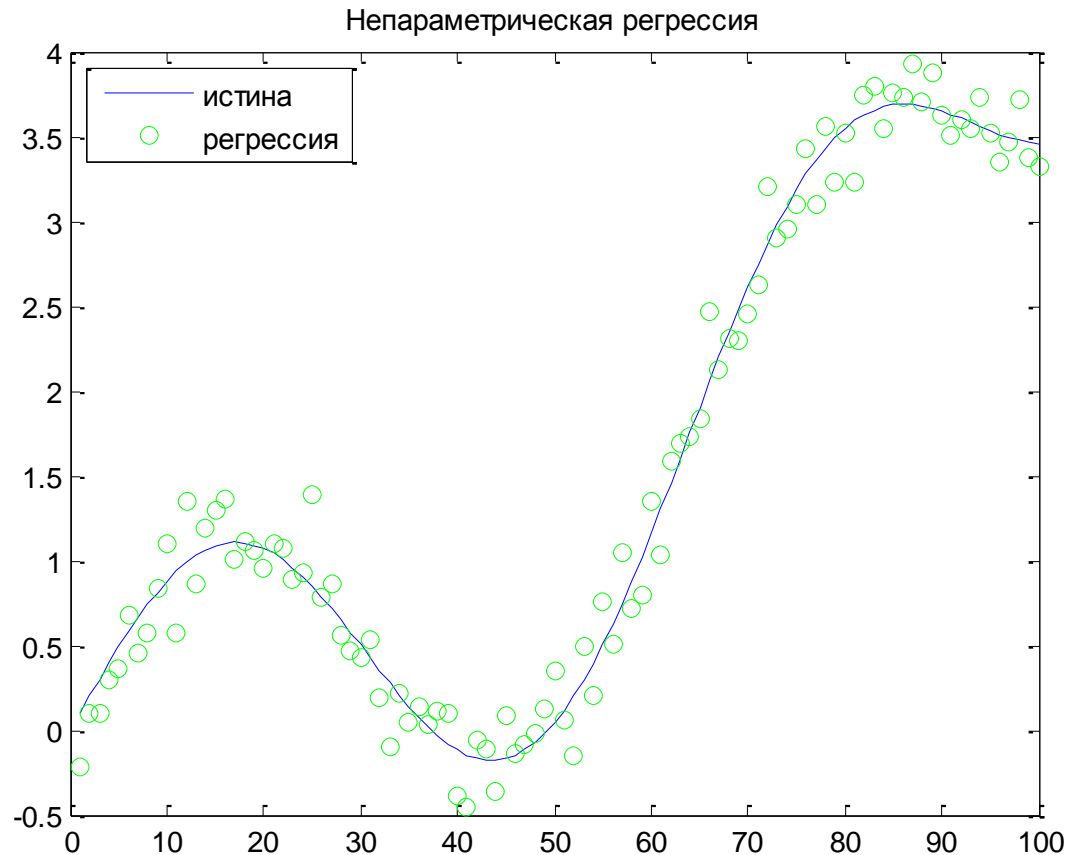


Линейная регрессия



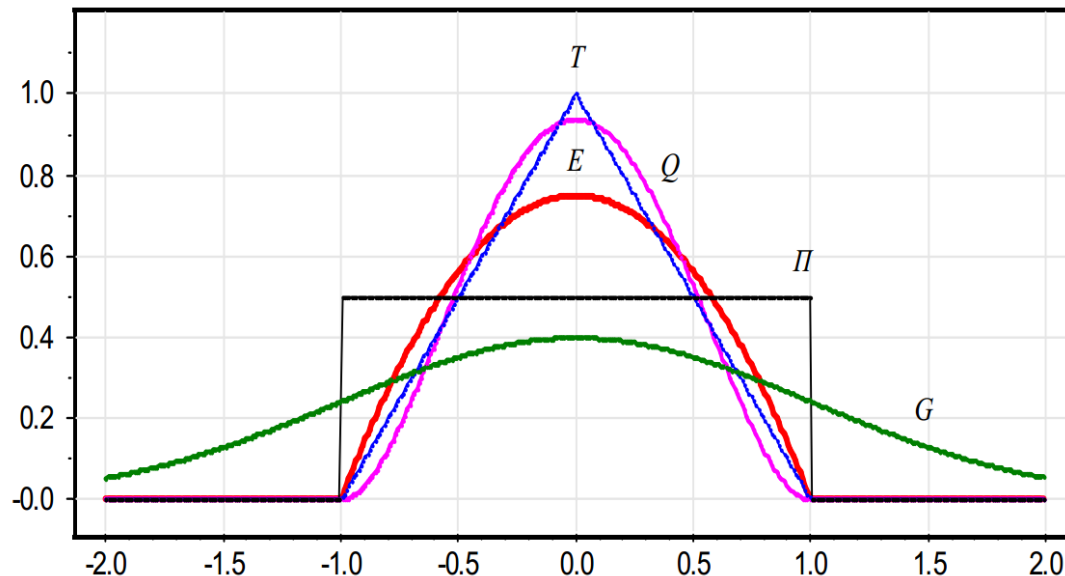
Как строить?

- Рассмотрим одномерный случай:



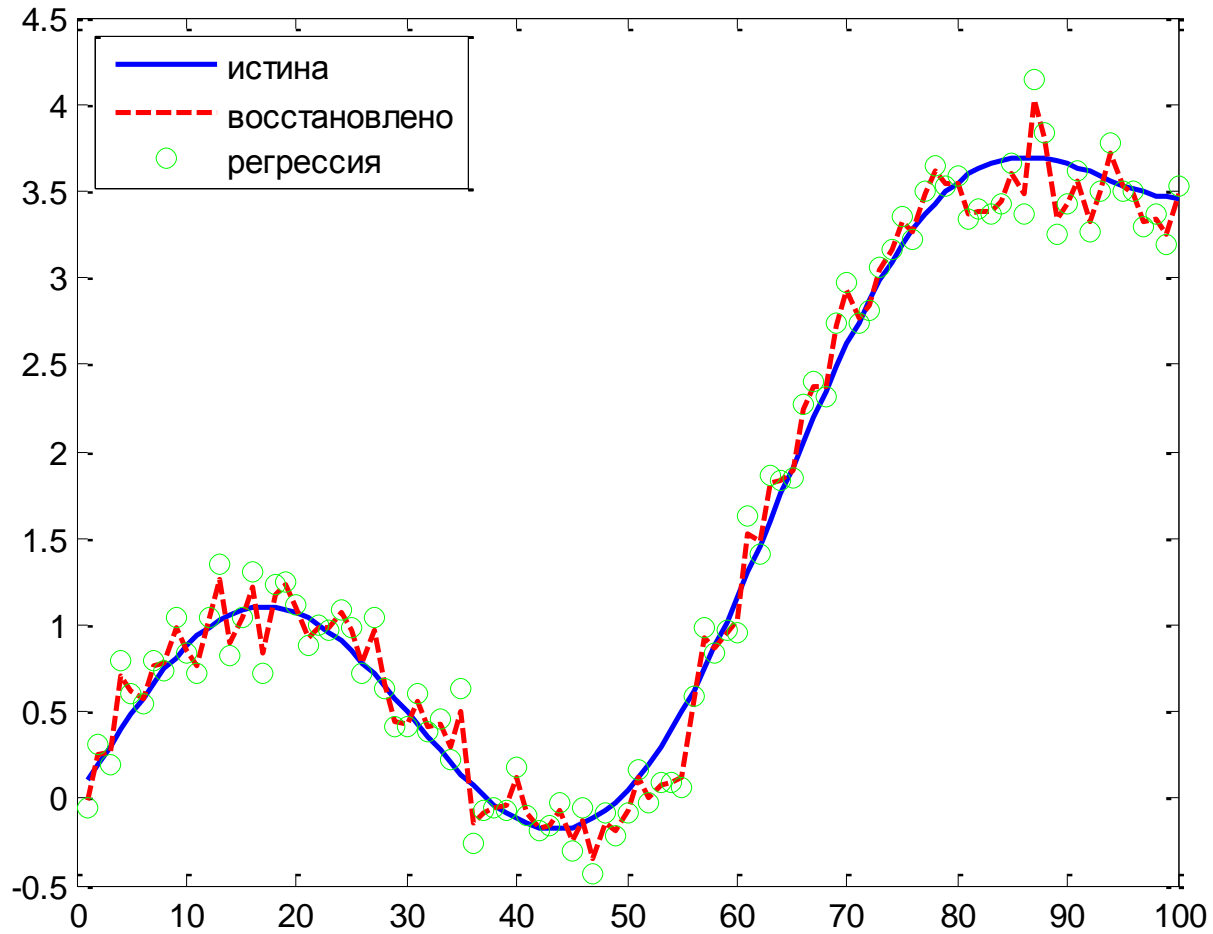
Сглаживание функций

- Среднее по всем точкам
- Среднее по фиксированному отрезку вокруг точки
- Среднее по всем точкам с весами



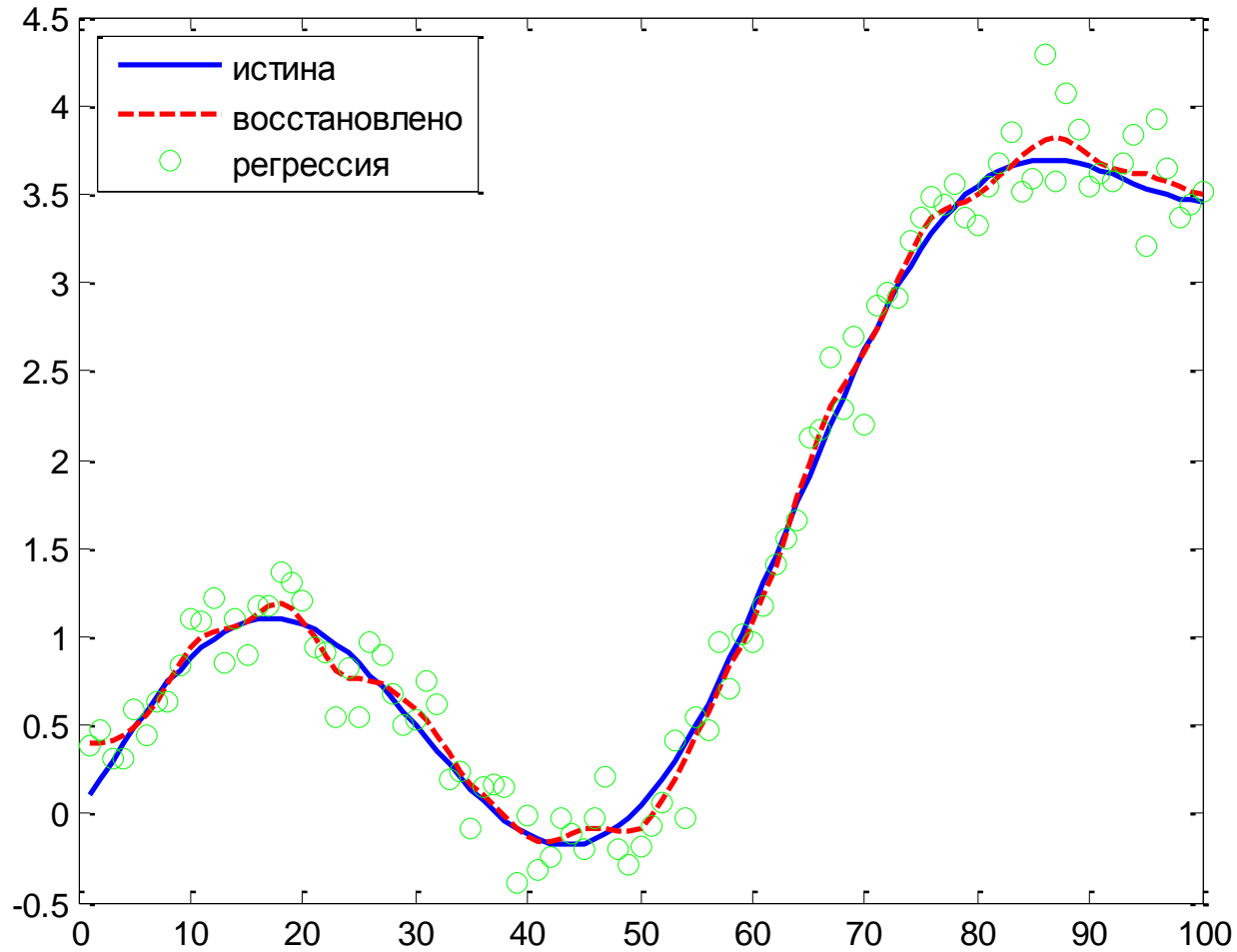
Маленькое окно

Непараметрическая регрессия

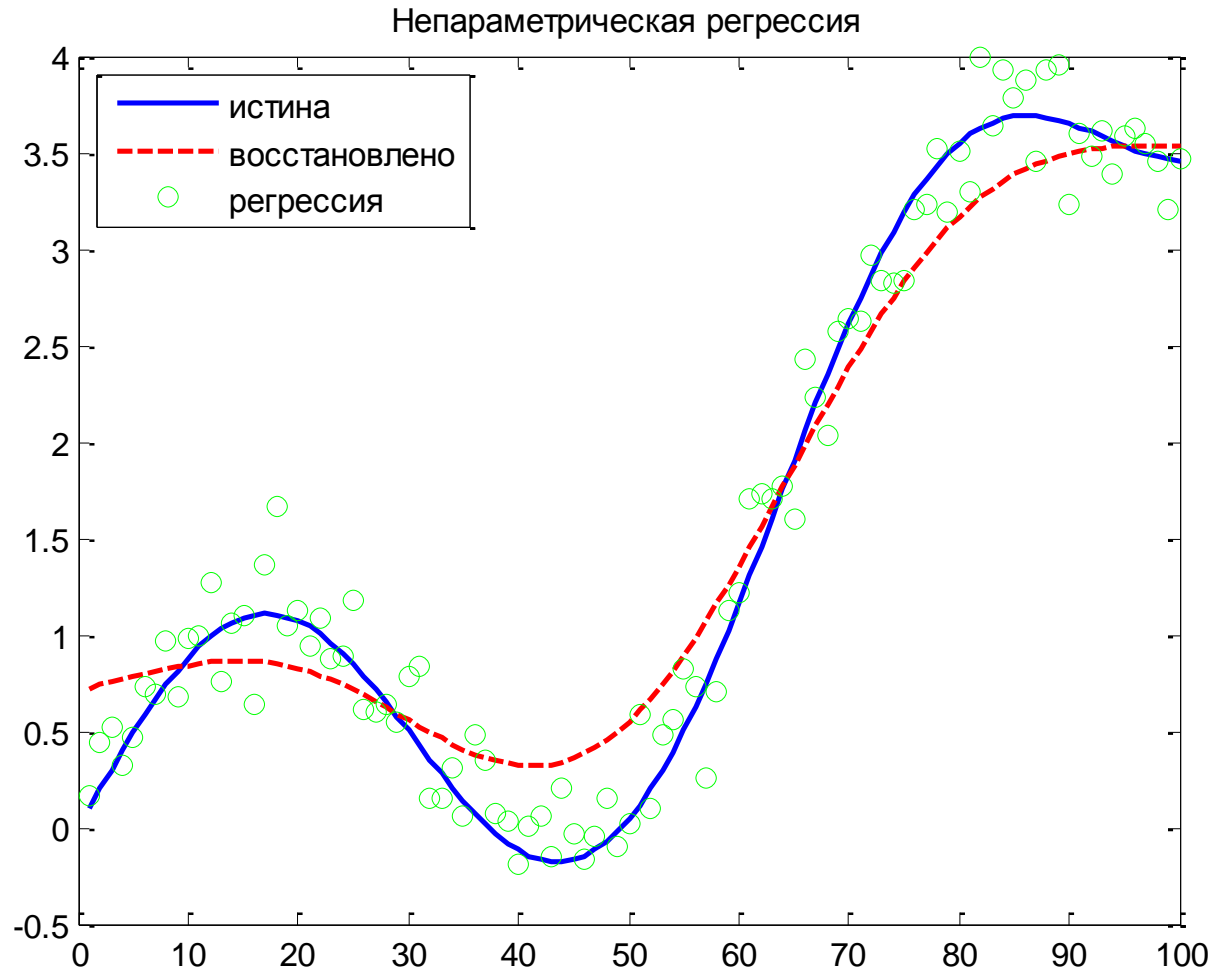


Окно побольше

Непараметрическая регрессия

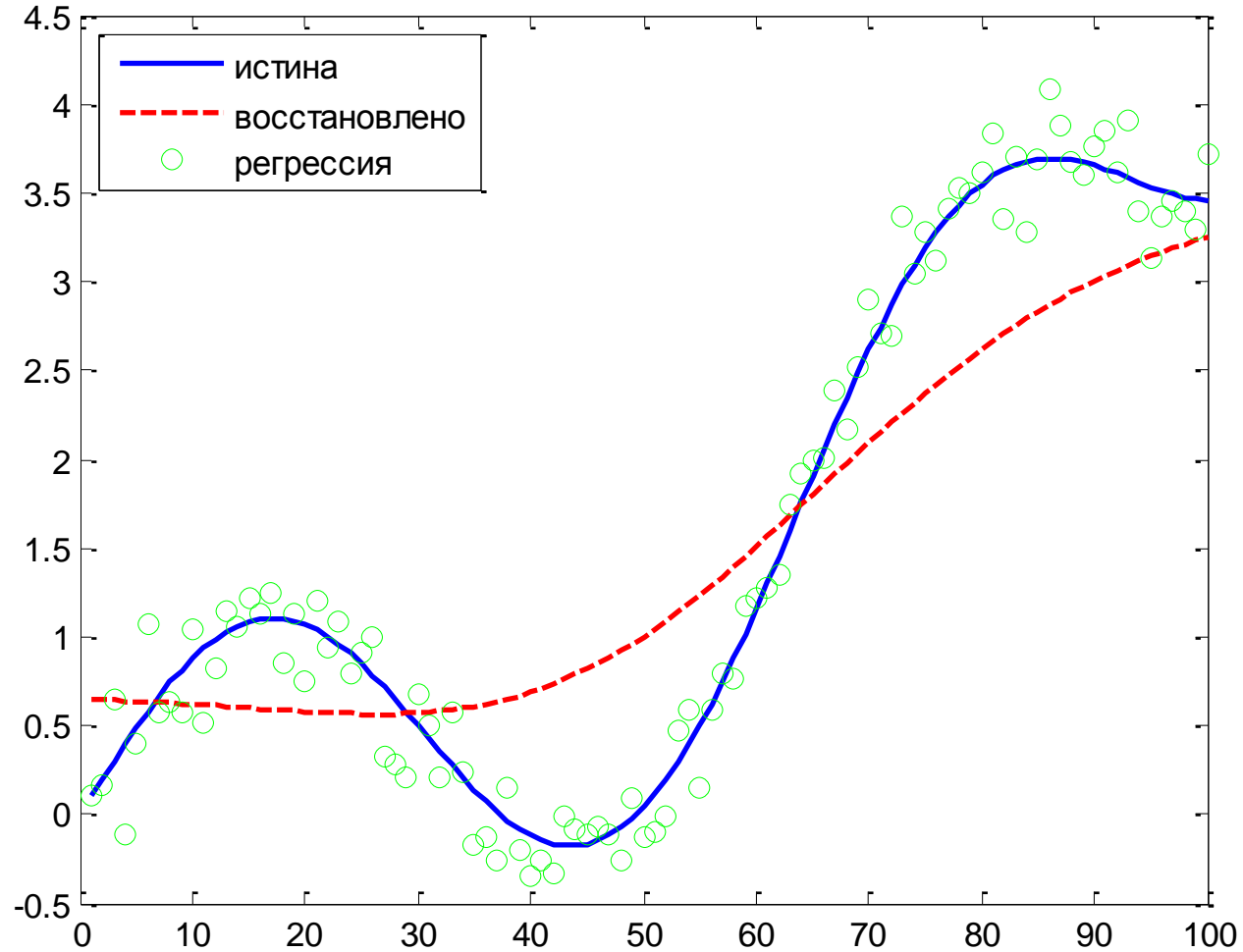


Окно еще больше



Окно еще больше

Непараметрическая регрессия



Часть 12

Прогнозирование московских
пробок

Постановка задачи

- Даны файлы с данными о средних скоростях на каждой улице Москвы
- Дана информация о 30 днях подряд (с 16 до 22 часов) и неполная информация о 31ом дне (с 16 до 18 часов)
- Даны длины улиц, рекомендованная средняя скорость и т.п.
- Надо предсказать скорость на каждой улице с 18 до 22 часов 31го дня

Первые идеи

- Учитывать выбросы и пропуски в данных
- Учитывать дни недели

Дни недели

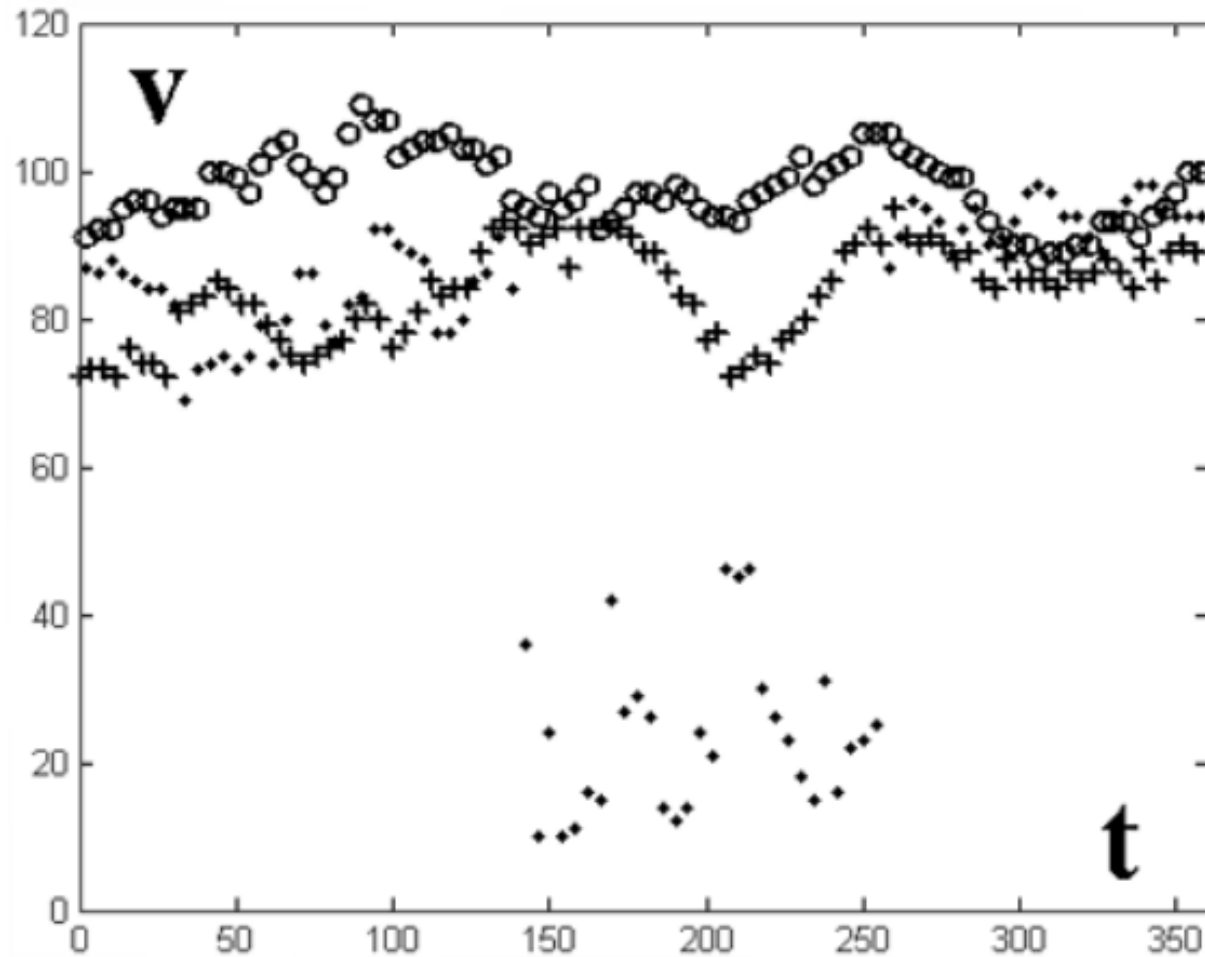


Рис. 4. Понедельник (сплошная), пятница (точки) и воскресенье (кружки) последней известной недели на улице 925236

Неплохое решение

- Сглаживаем каждый понедельник каждой улицы
- В качестве ответа – средняя скорость по сглаженным прошлым понедельникам

В чем проблемы?

- Параметры
- Сложно проверять качество

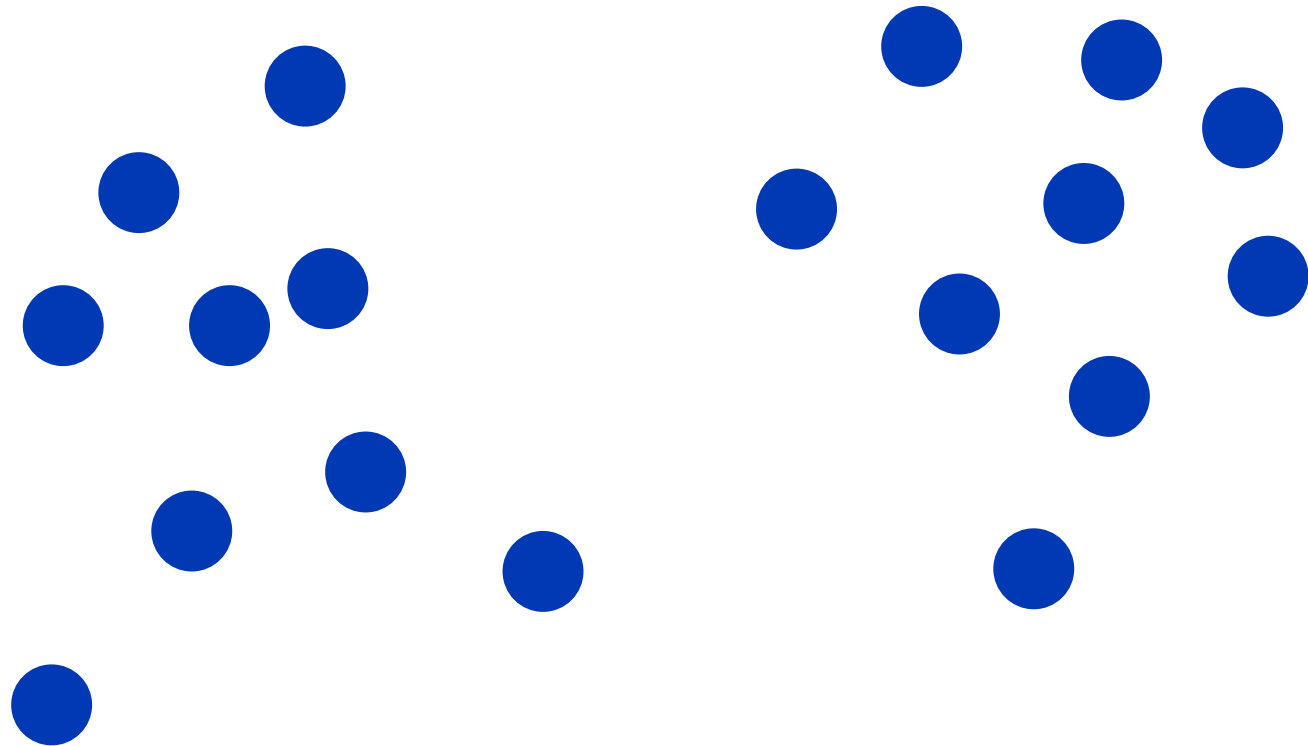
Другие идеи

- Учитывать другие дни недели с весами
- Учитывать недели с весами
- Учитывать скорости с 16 до 18 часов в искомый день
- Находить похожие улицы

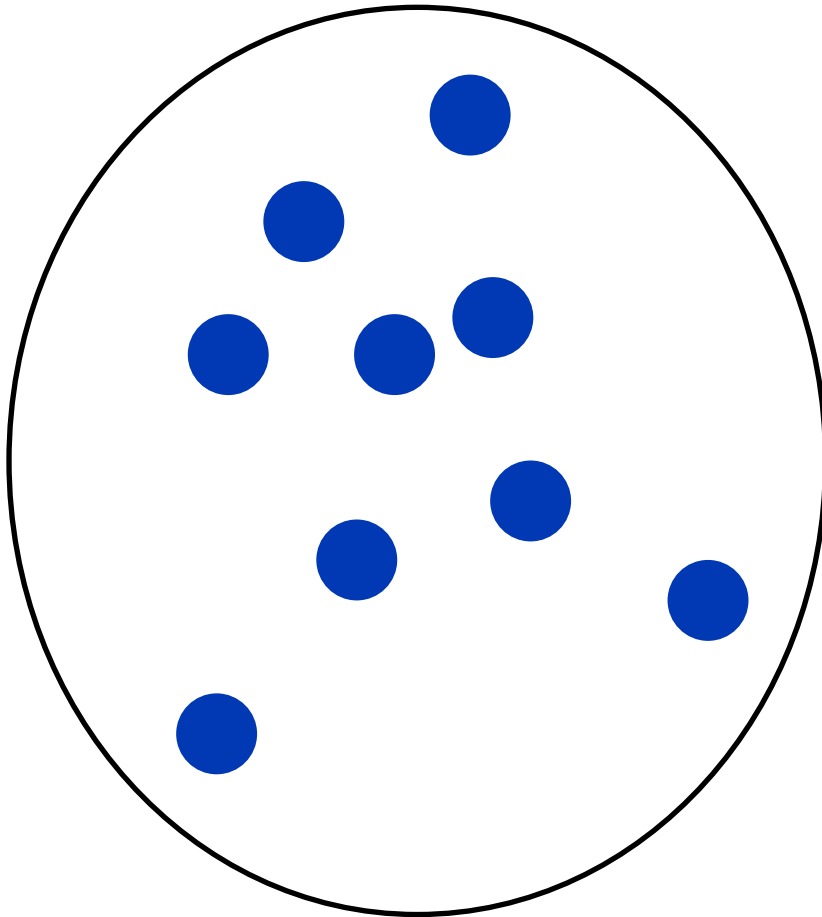
Часть 13

Кластеризация

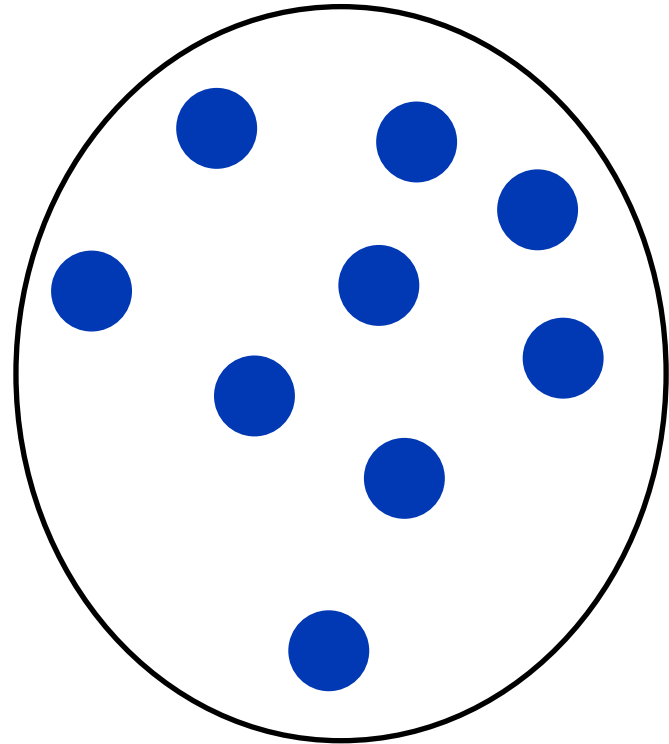
Задача кластеризации – обучение без учителя



Задача кластеризации



Один кластер



Другой кластер

Постановка задачи

- Дано: множество объектов
- Надо: разделить объекты на группы (кластеры) таким образом, что:
 - Каждый кластер состоит из близких объектов
 - Объекты разных кластеров существенно различны

Задача не до конца формализована

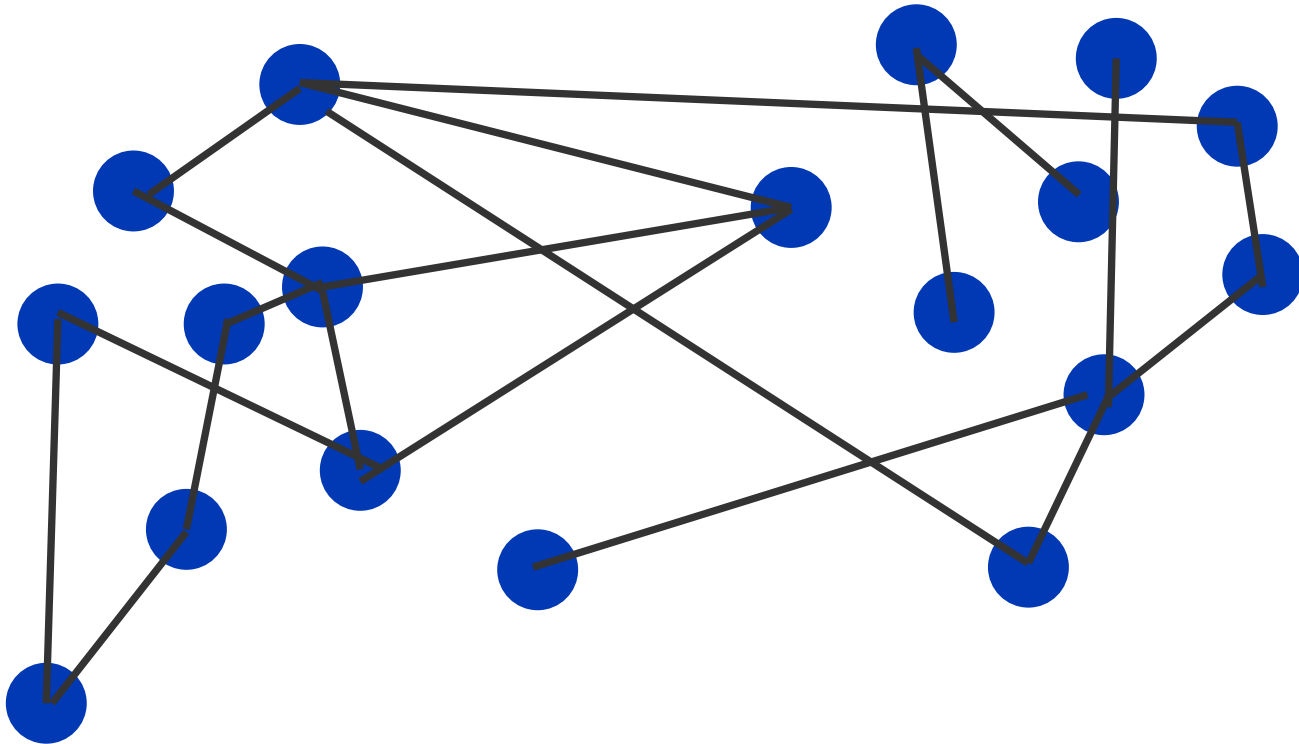
- Что значит близкие объекты?
- Что значит существенно различные объекты?
- Какое разбиение на кластеры лучше? Как мерять качество?
- Даже нужное число кластеров неизвестно!

Задача до конца не формализована

- Главное – научиться считать расстояние между объектами.
- Стремимся сделать расстояние между объектами внутри кластера меньше, между объектами разных кластеров – больше.

Представим данные в виде полного графа

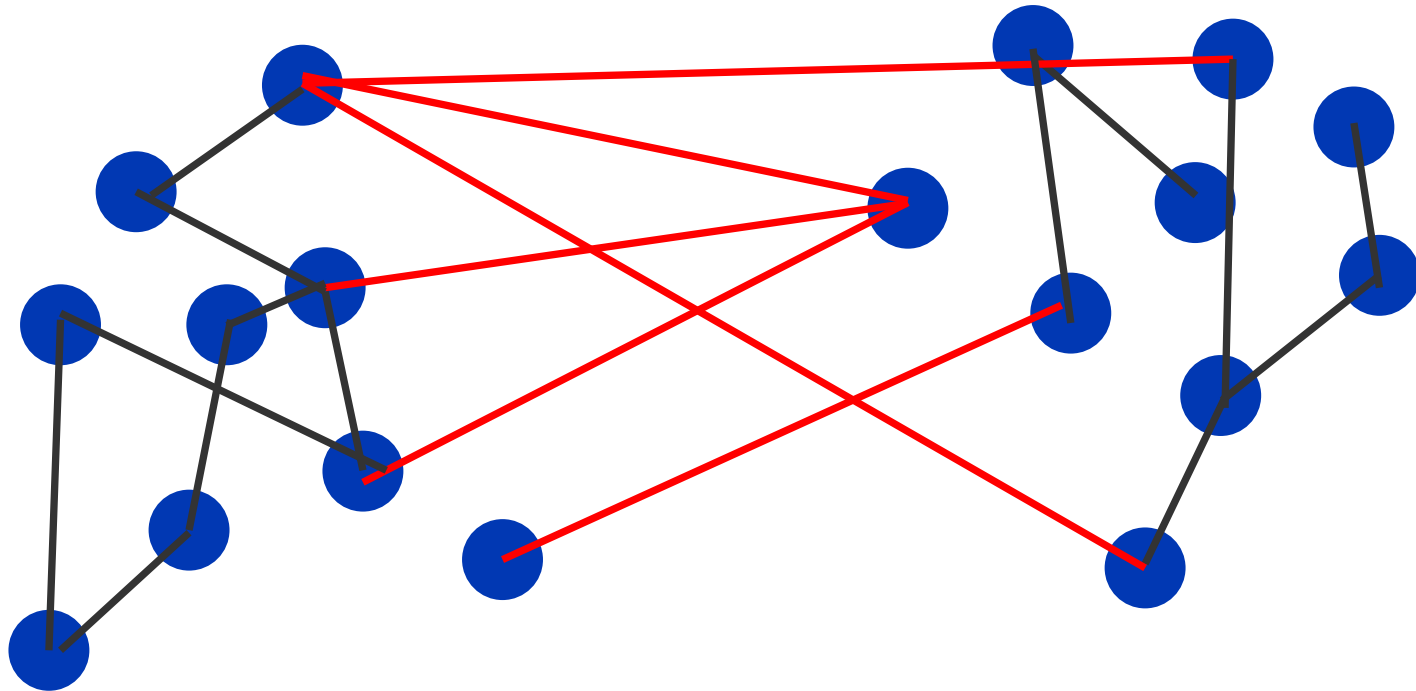
- Вершины графа – объекты
- Ребра – расстояния между ними



Алгоритм СВЯЗНЫХ КОМПОНЕНТ

- Пусть мы хотим получить от K_1 до K_2 кластеров
- Алгоритм:
 - фиксируем некоторое расстояние R ;
 - удаляем ребра длиной больше R ;
 - K = число связных компонент;
 - если $K < K_1$, увеличиваем R , если $K > K_2$, уменьшаем R
- Повторяем заново, пока нас не устроит число кластеров

Алгоритм СВЯЗНЫХ КОМПОНЕНТ



Недостатки:

- Неудобный параметр R
- Шумовые объекты все портят

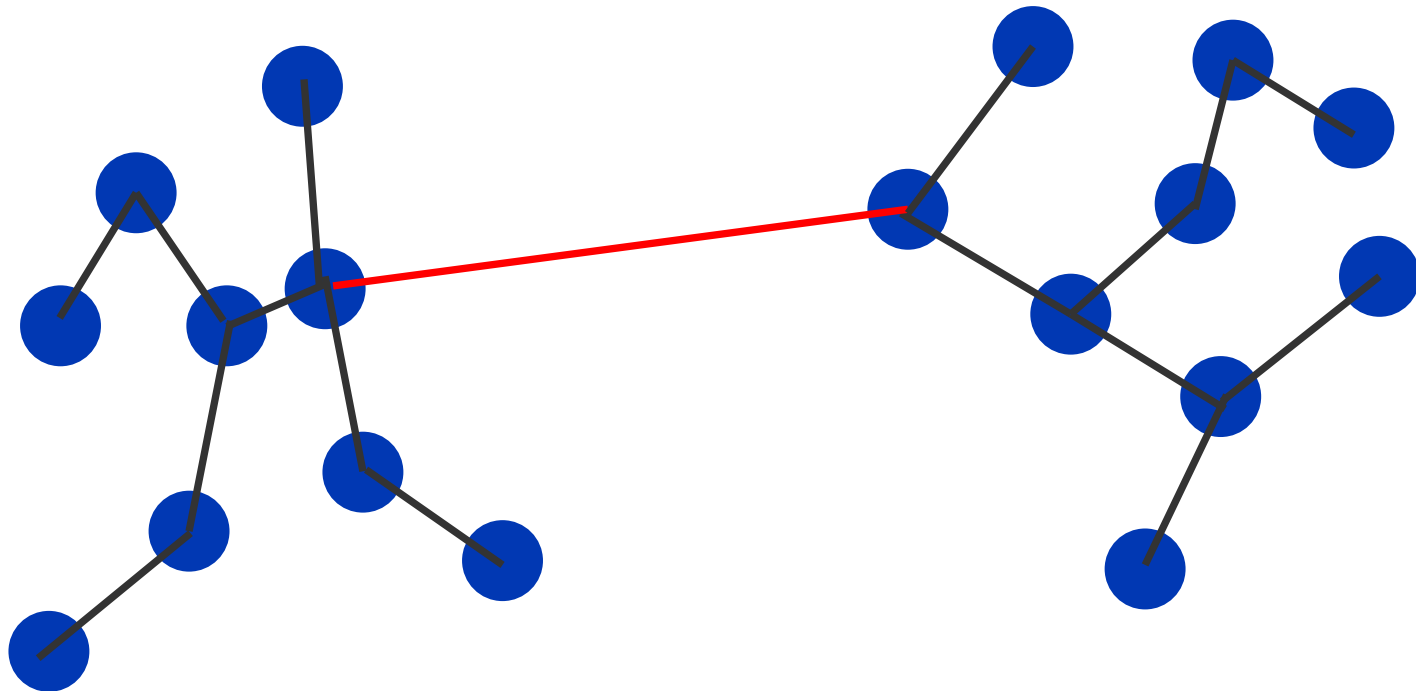
Вспомним алгоритм Краскала:

Найти пару вершин (i, j) с наименьшим расстоянием и соединить их ребром чтобы не образовывалось циклов.

Получится минимальное остовное дерево.

Как разбить на компоненты

- Получили остовное дерево
- Удалим $K - 1$ самых длинных рёбер
- Каждая компонента связности – отдельный кластер (K штук).



Достоинства и недостатки:

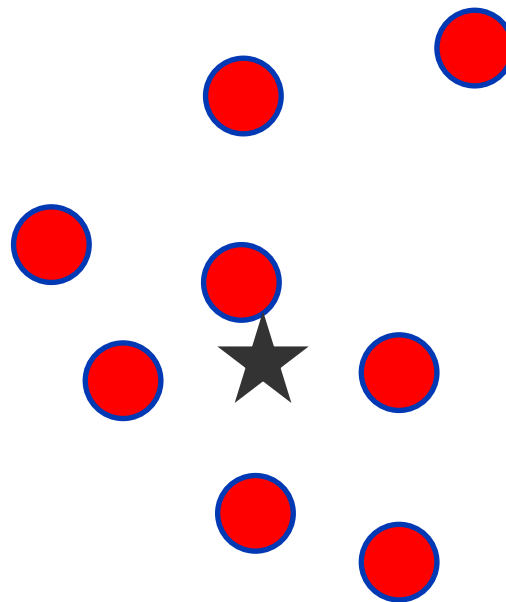
- Достоинство:
 - задается число кластеров K
- Недостаток:
 - шум снова все портит

Лирическое отступление: центр масс

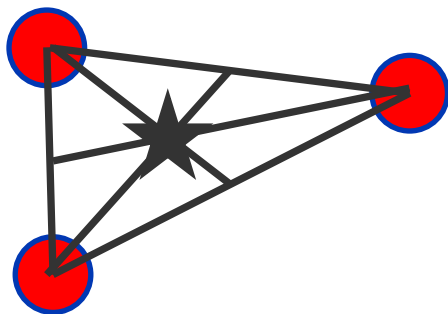
Две точки:



Произвольное облако точек:



Три точки:



Алгоритм ФОРЭЛ

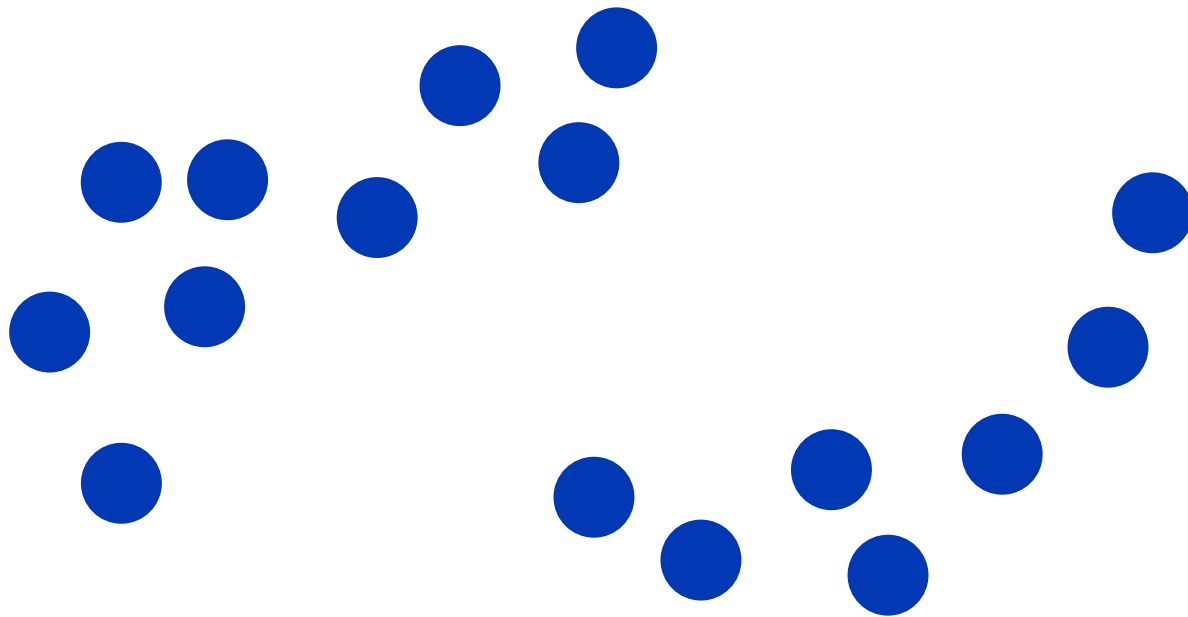
Шаг 1: объединяем точки в маленькие кластеры

пусть U — множество некластеризованных точек;

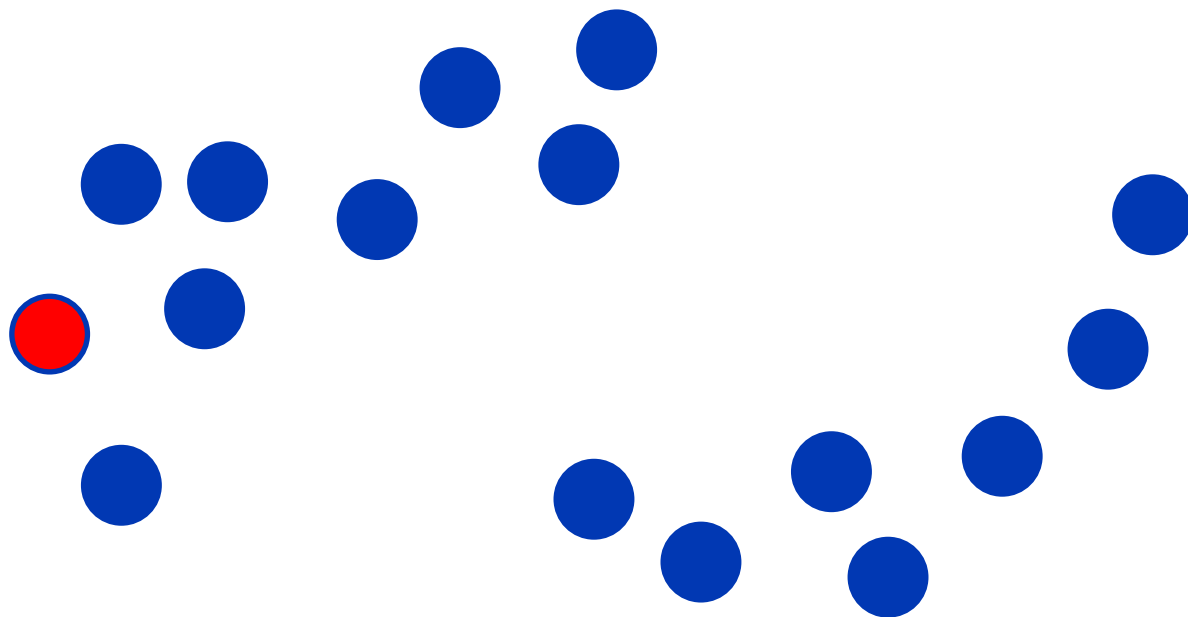
пока в выборке есть некластеризованные точки:

- взять случайную точку x из U ;
- повторять:
 - образовать кластер с центром в x и расстоянием до объектов не больше R ;
 - переместить центр в центр масс кластера;
- пока состав кластера не стабилизируется;
- удалить точки нового кластера из множества U .

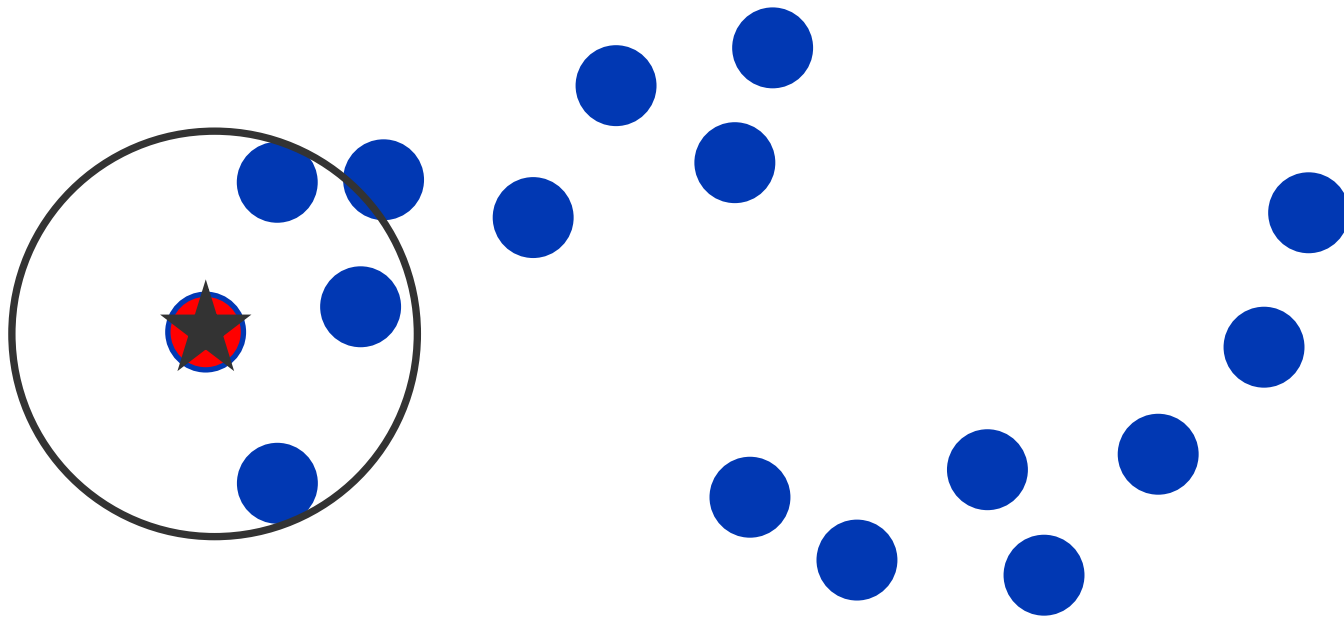
Алгоритм ФОРЭЛ, шаг 1



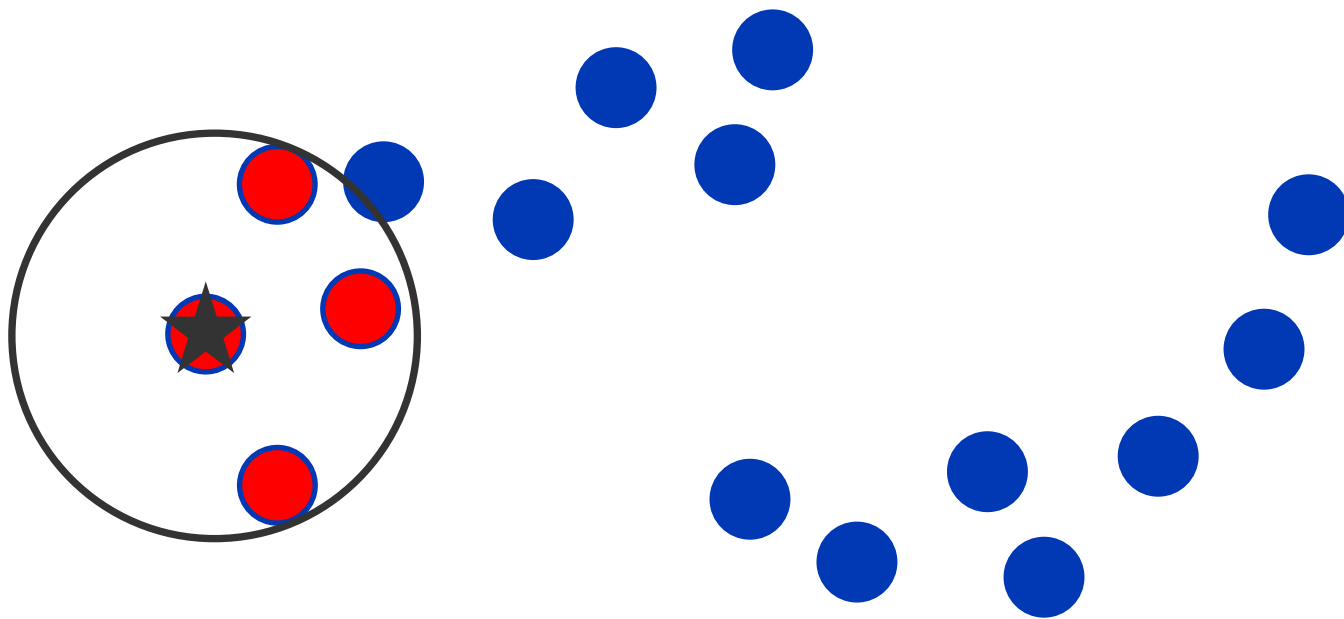
Алгоритм ФОРЭЛ, шаг 1



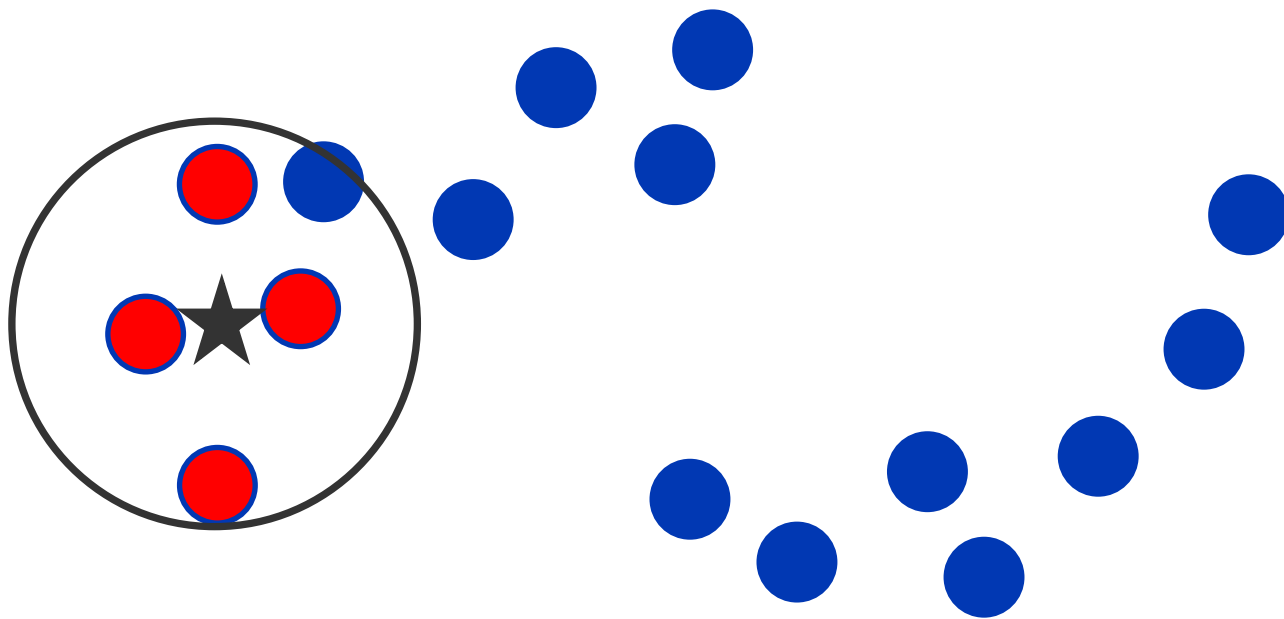
Алгоритм ФОРЭЛ, шаг 1



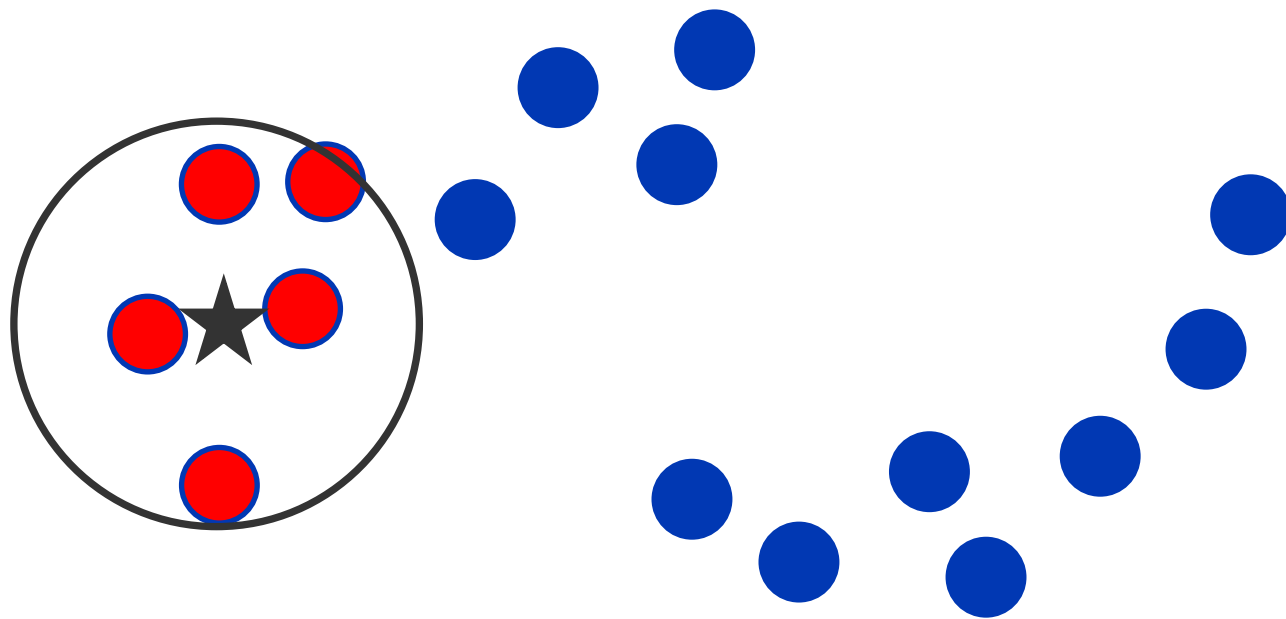
Алгоритм ФОРЭЛ, шаг 1



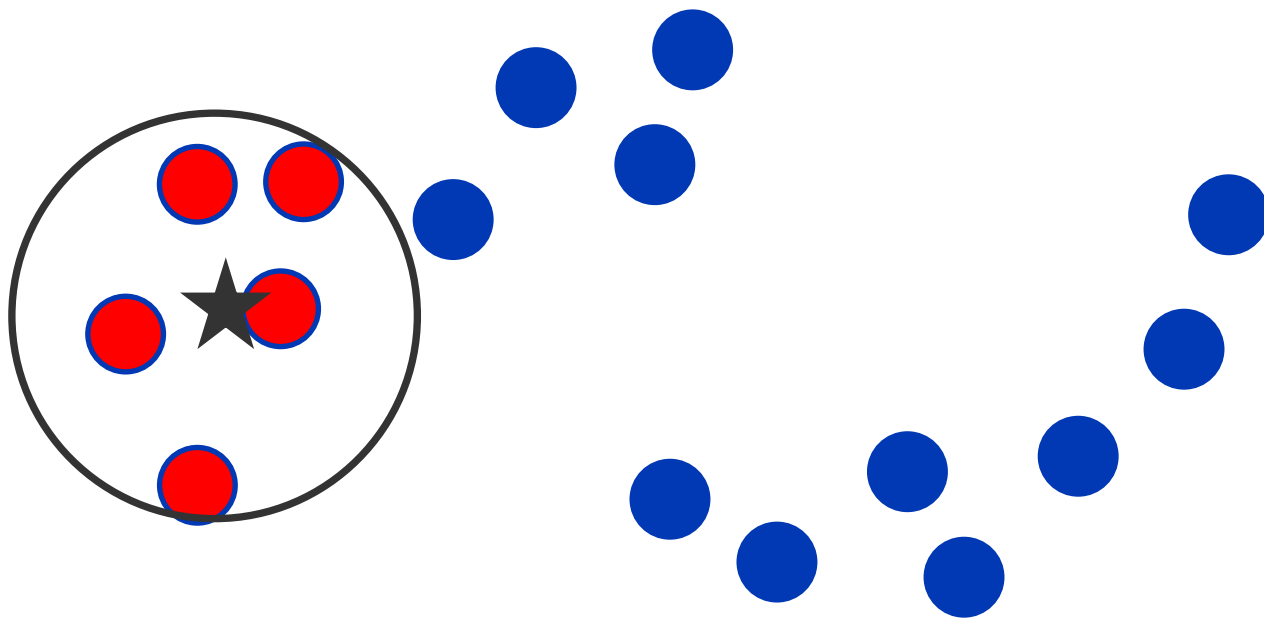
Алгоритм ФОРЭЛ, шаг 1



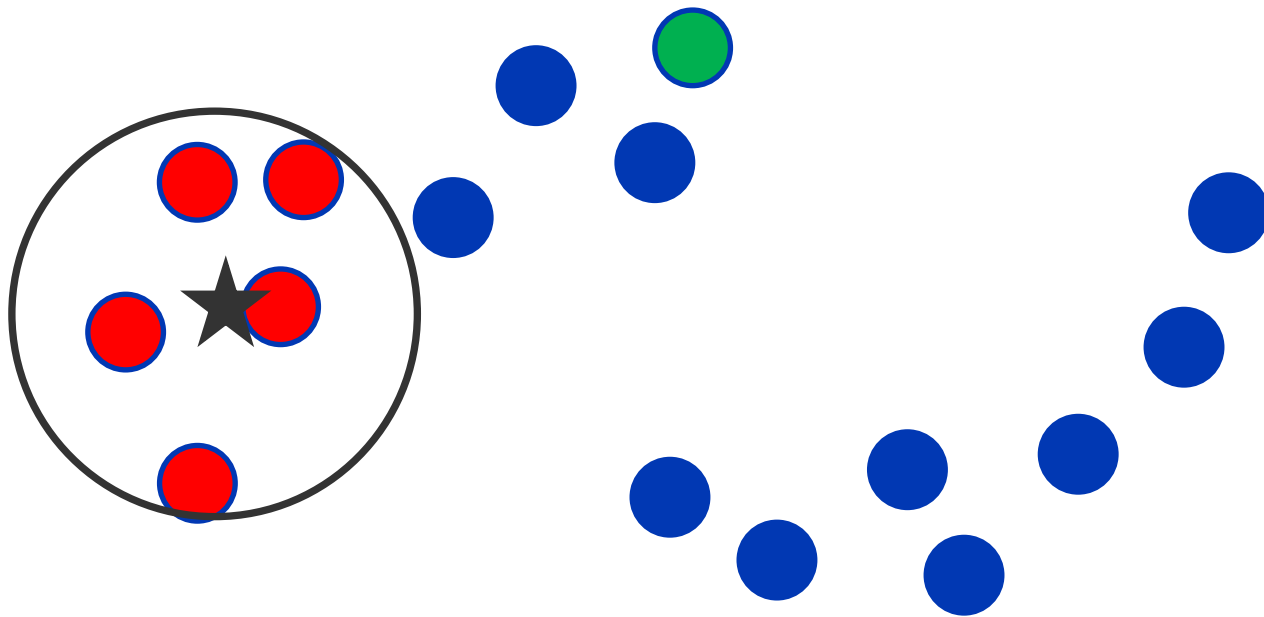
Алгоритм ФОРЭЛ, шаг 1



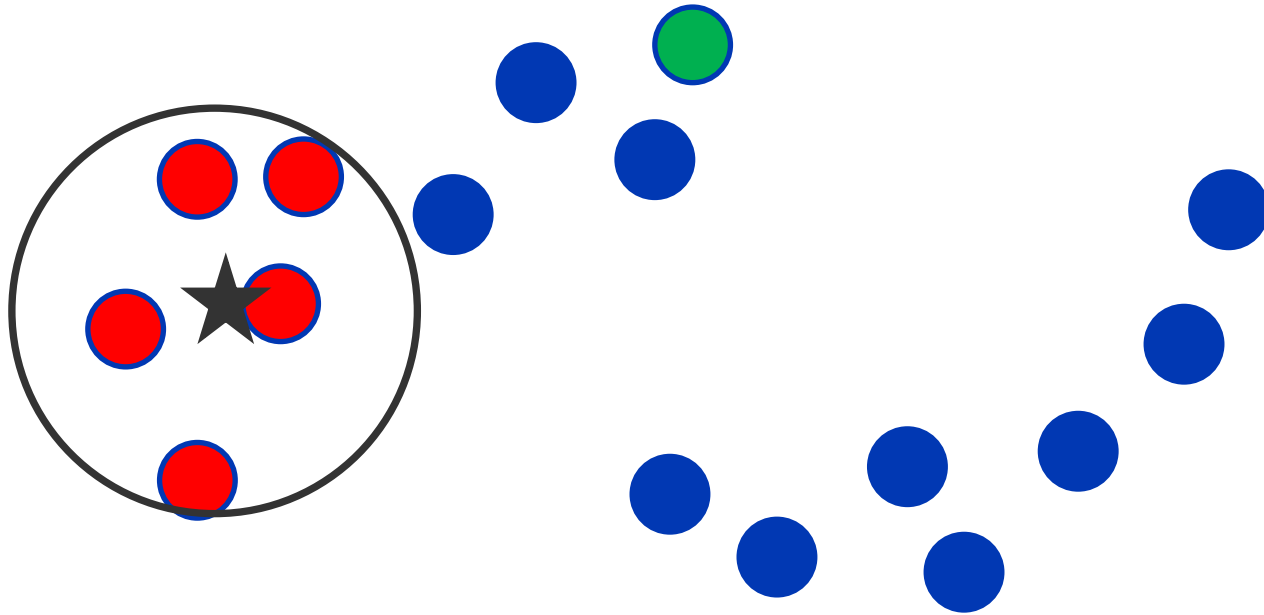
Алгоритм ФОРЭЛ, шаг 1



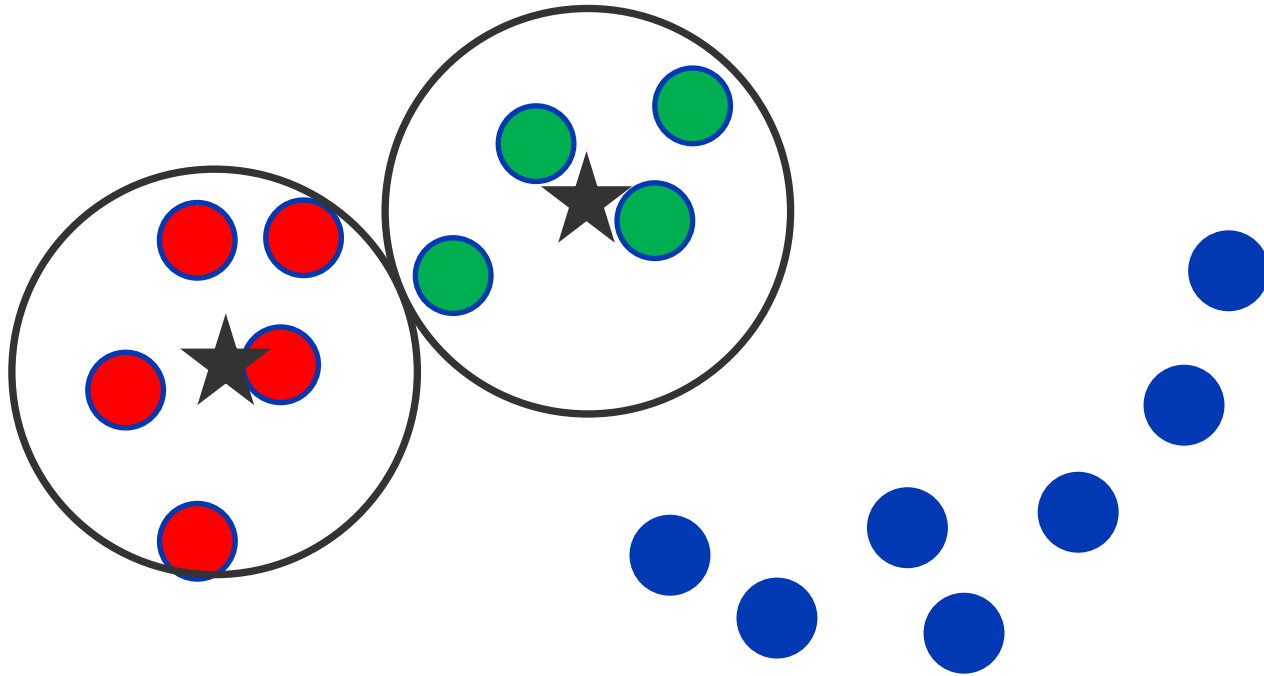
Алгоритм ФОРЭЛ, шаг 1



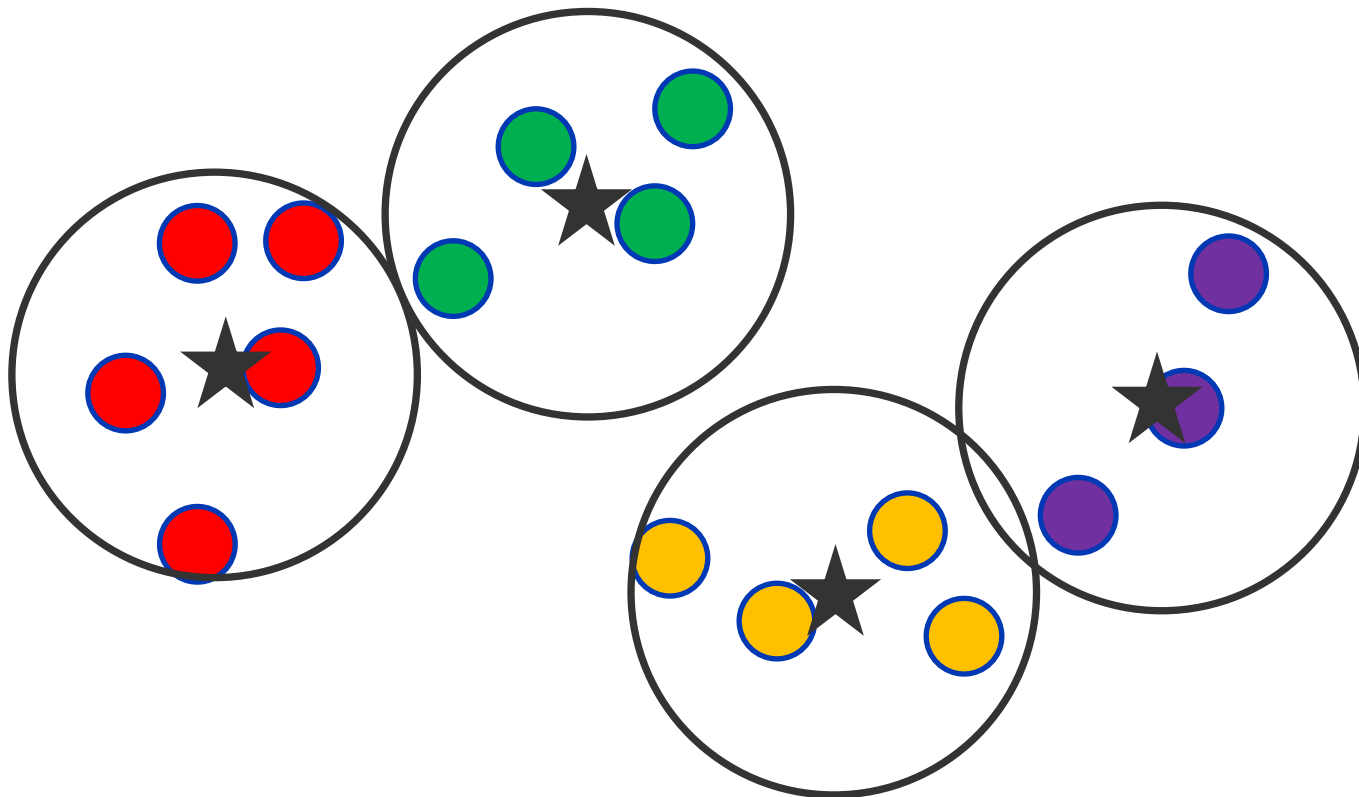
Алгоритм ФОРЭЛ, шаг 1



Алгоритм ФОРЭЛ, шаг 1



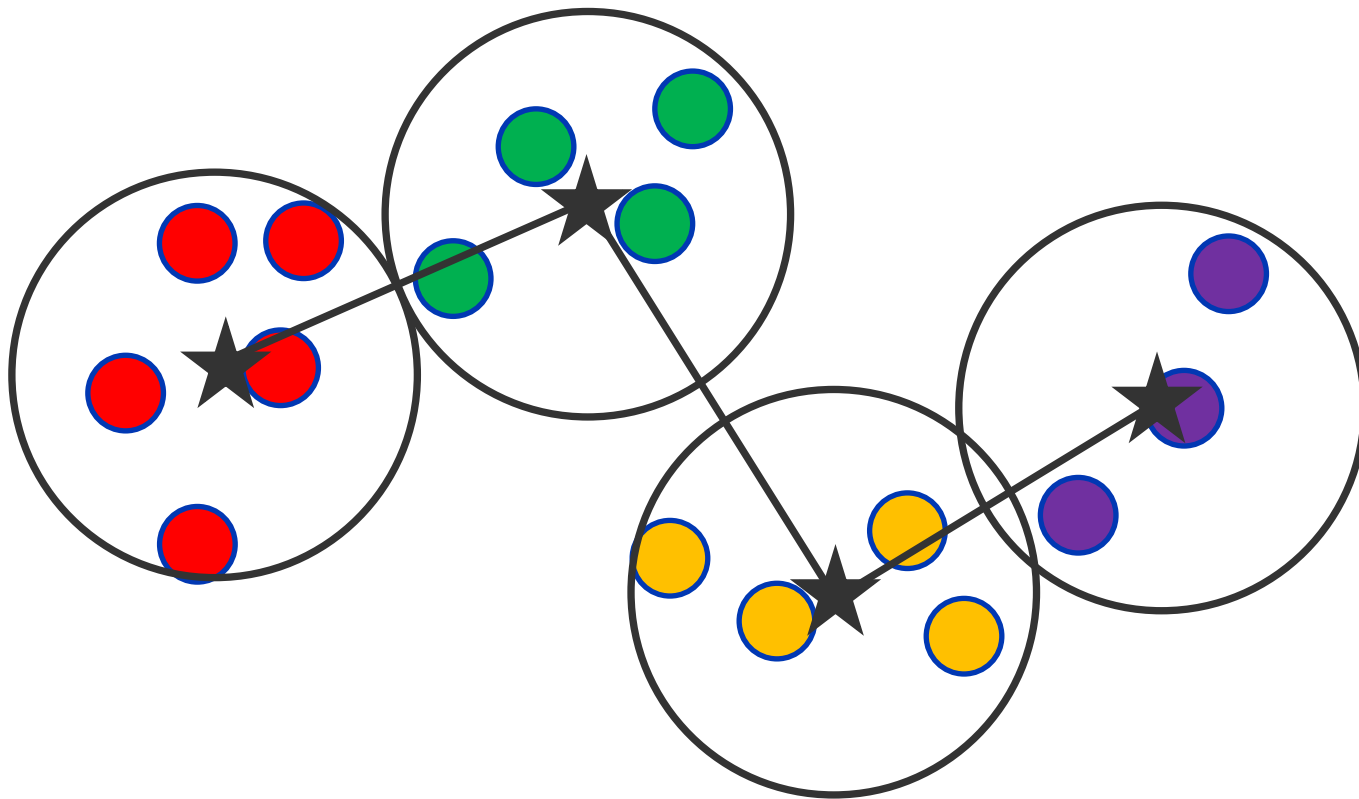
Алгоритм ФОРЭЛ, шаг 1



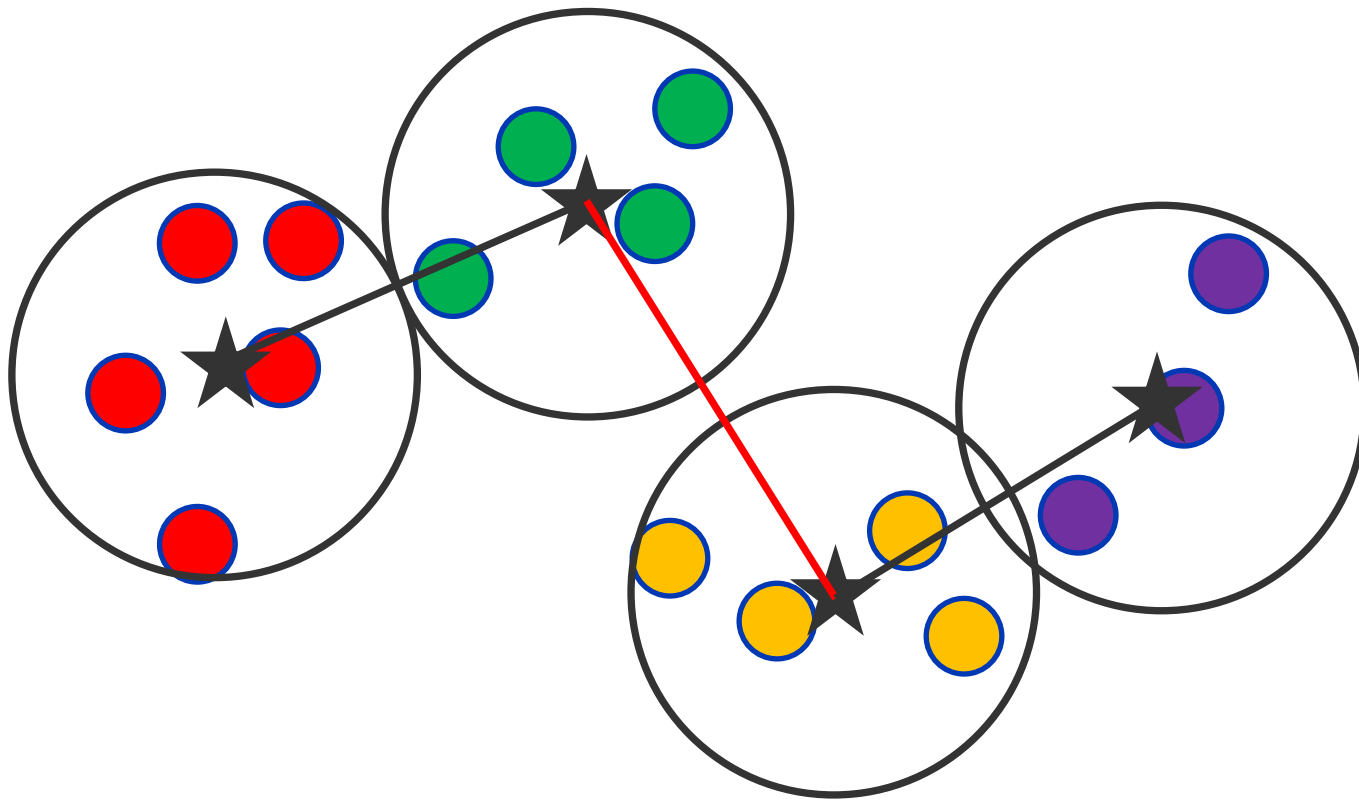
Алгоритм ФОРЭЛ

- Шаг 2: применим графовый алгоритм к множеству центров маленьких кластеров

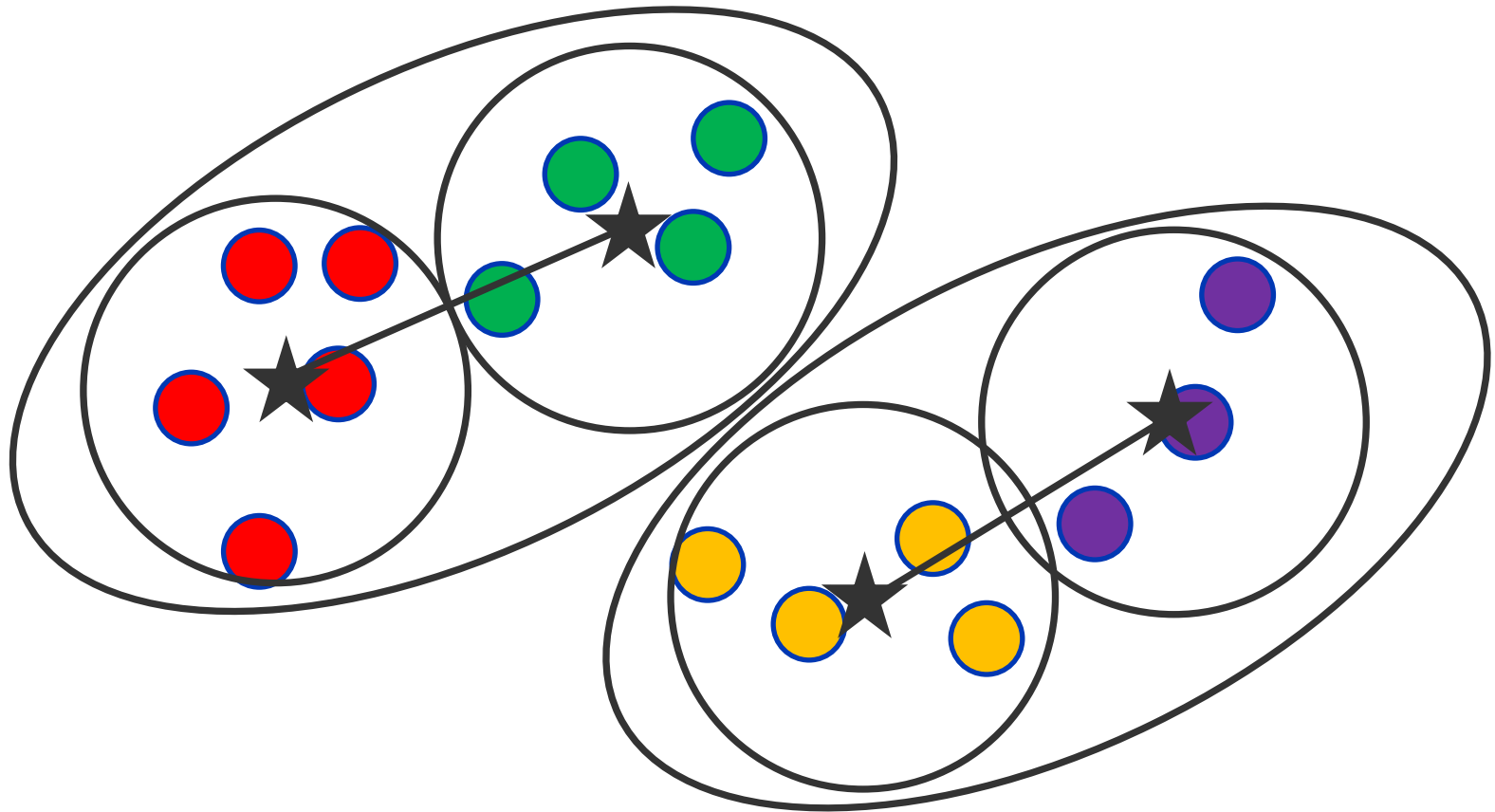
Алгоритм ФОРЭЛ, шаг 2



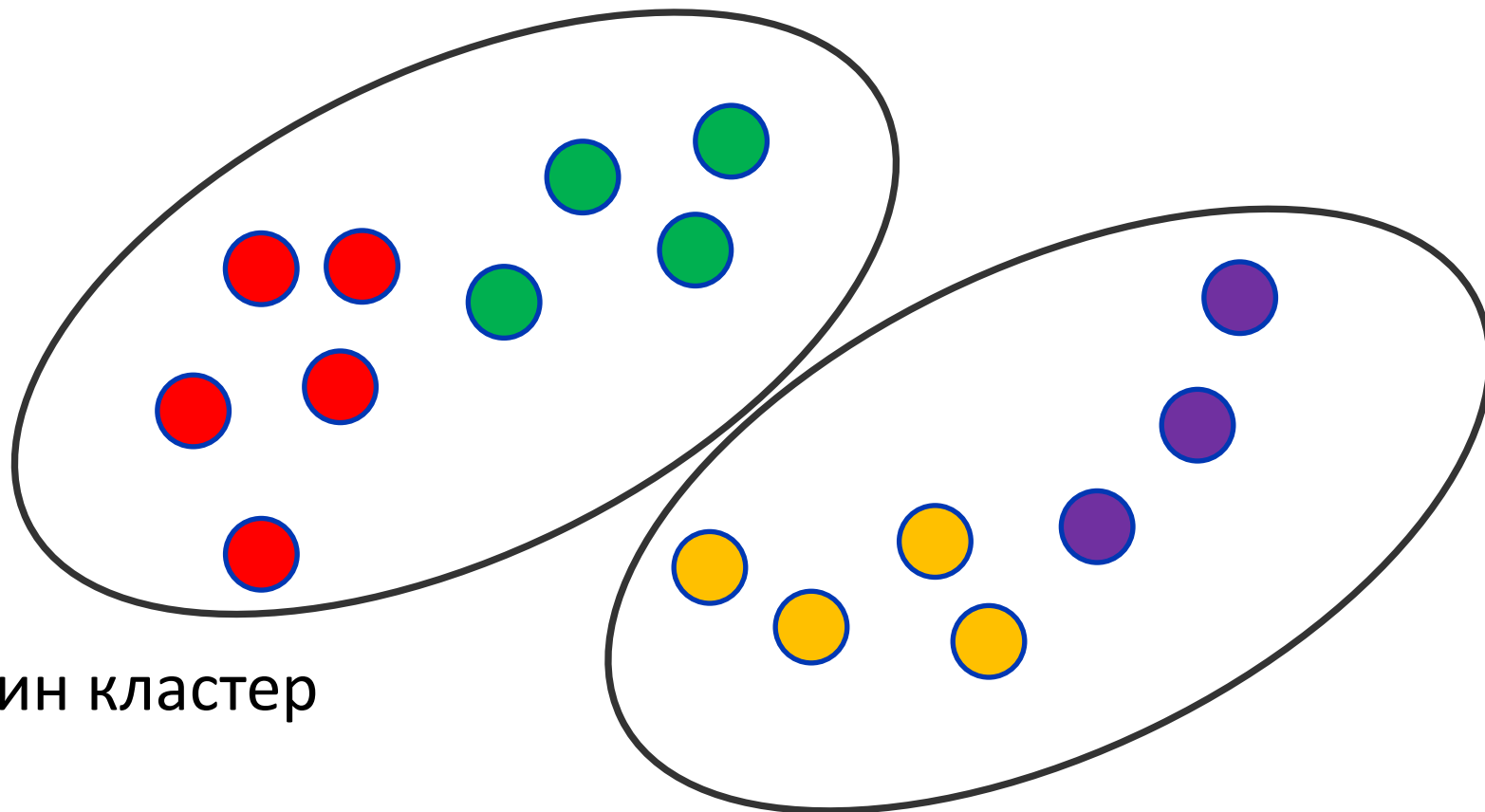
Алгоритм ФОРЭЛ, шаг 2



Алгоритм ФОРЭЛ, шаг 2



Алгоритм ФОРЭЛ, шаг 2



Один кластер

Другой кластер

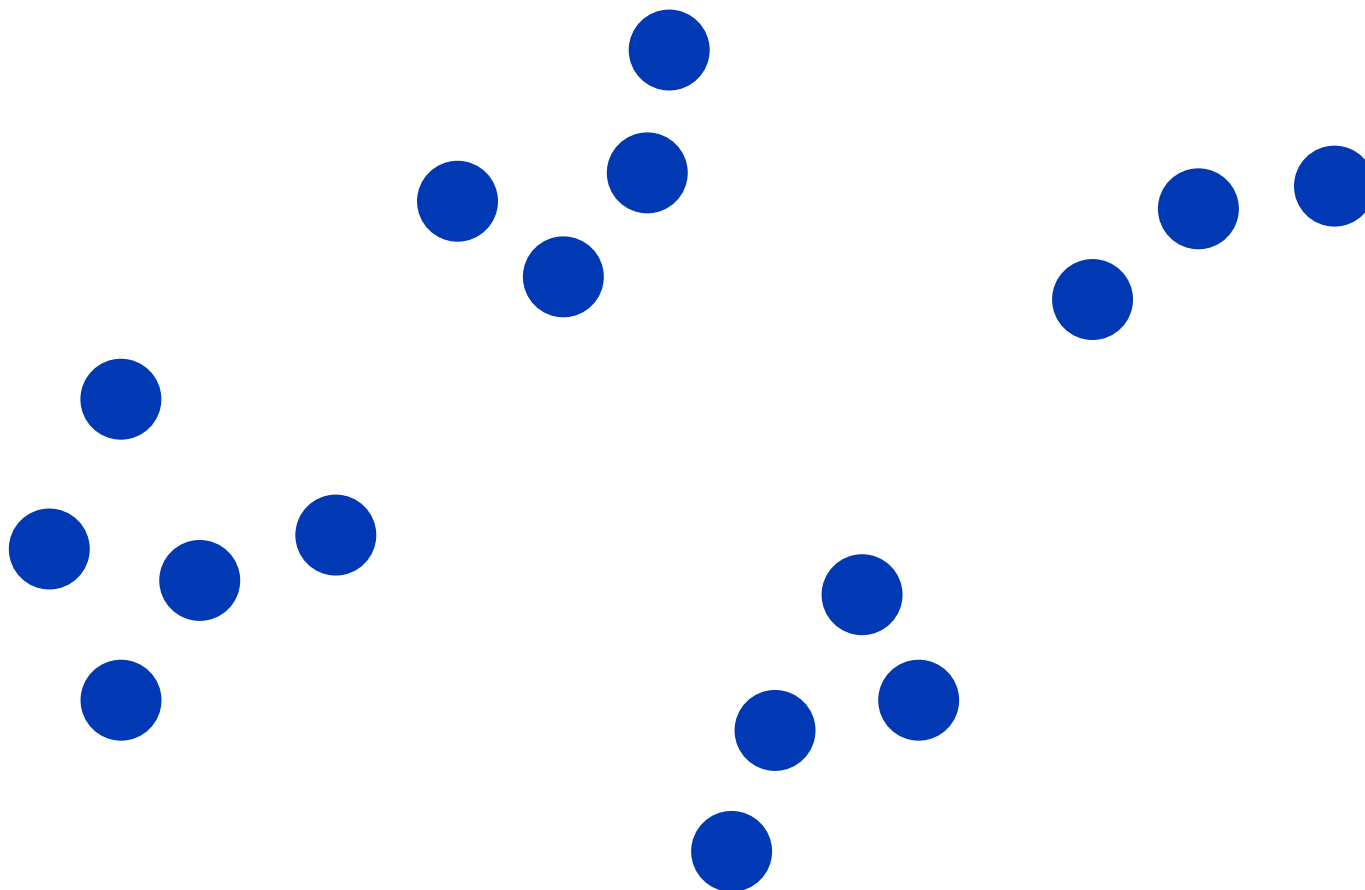
ФОРЭЛ

- Двухуровневая структура
- Параметр R управляется

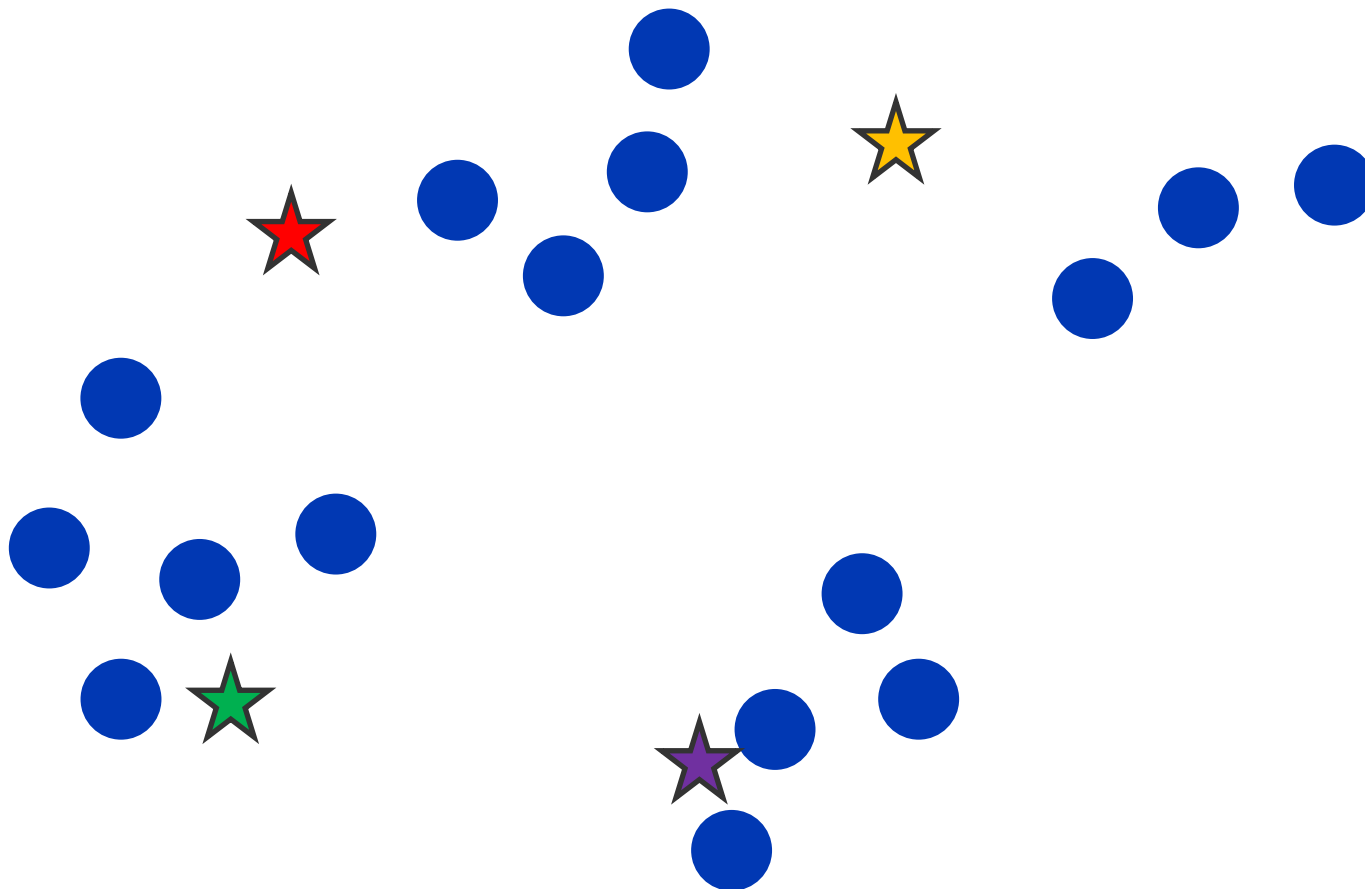
Метод k-средних

- выбрать начальные положения центров кластеров;
- повторять:
 - отнести каждый объект к ближайшему центру;
 - перенести новые положения центров в центры масс кластеров;
- пока положения центров не перестанут изменяться

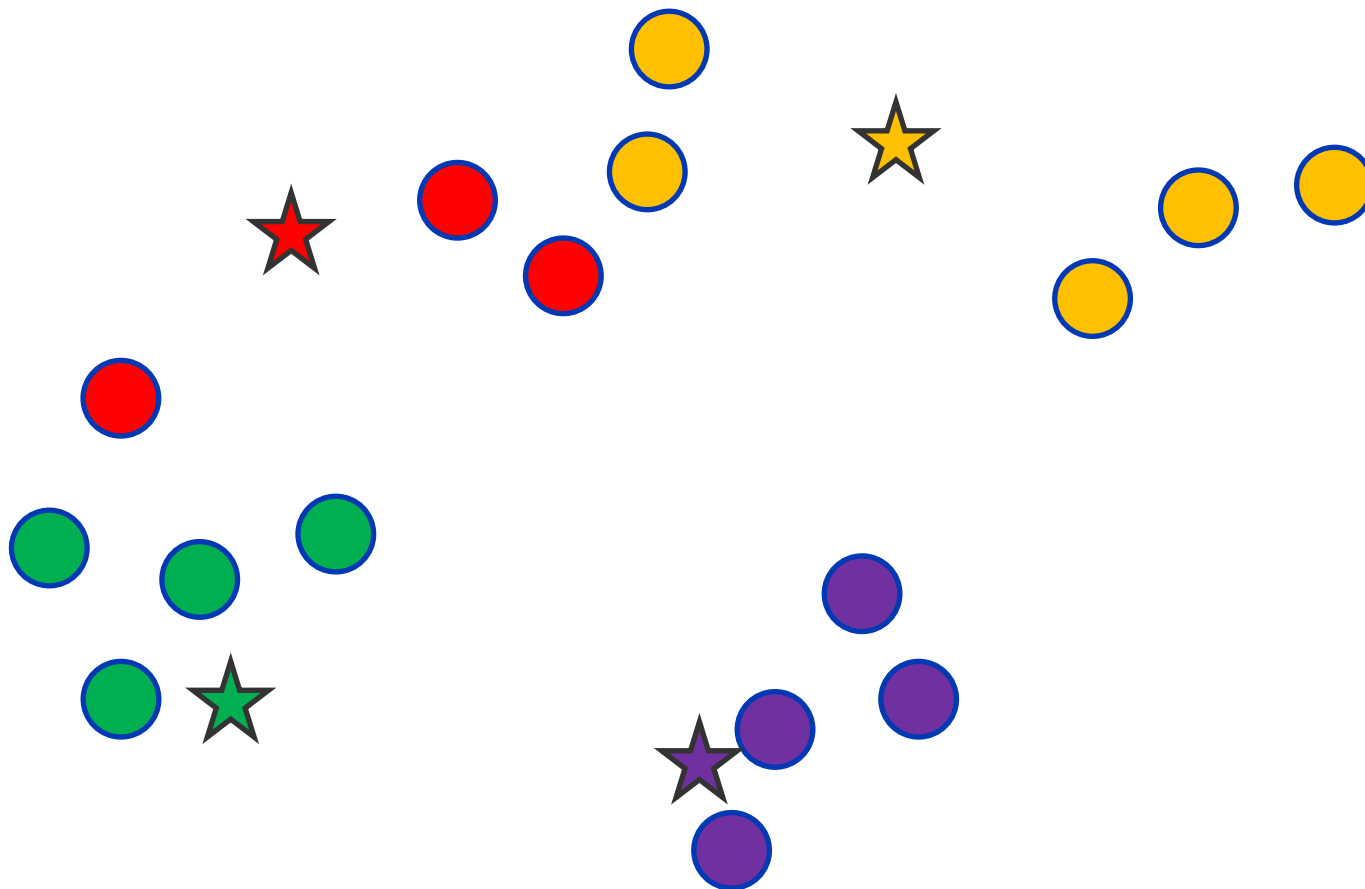
Метод k-средних



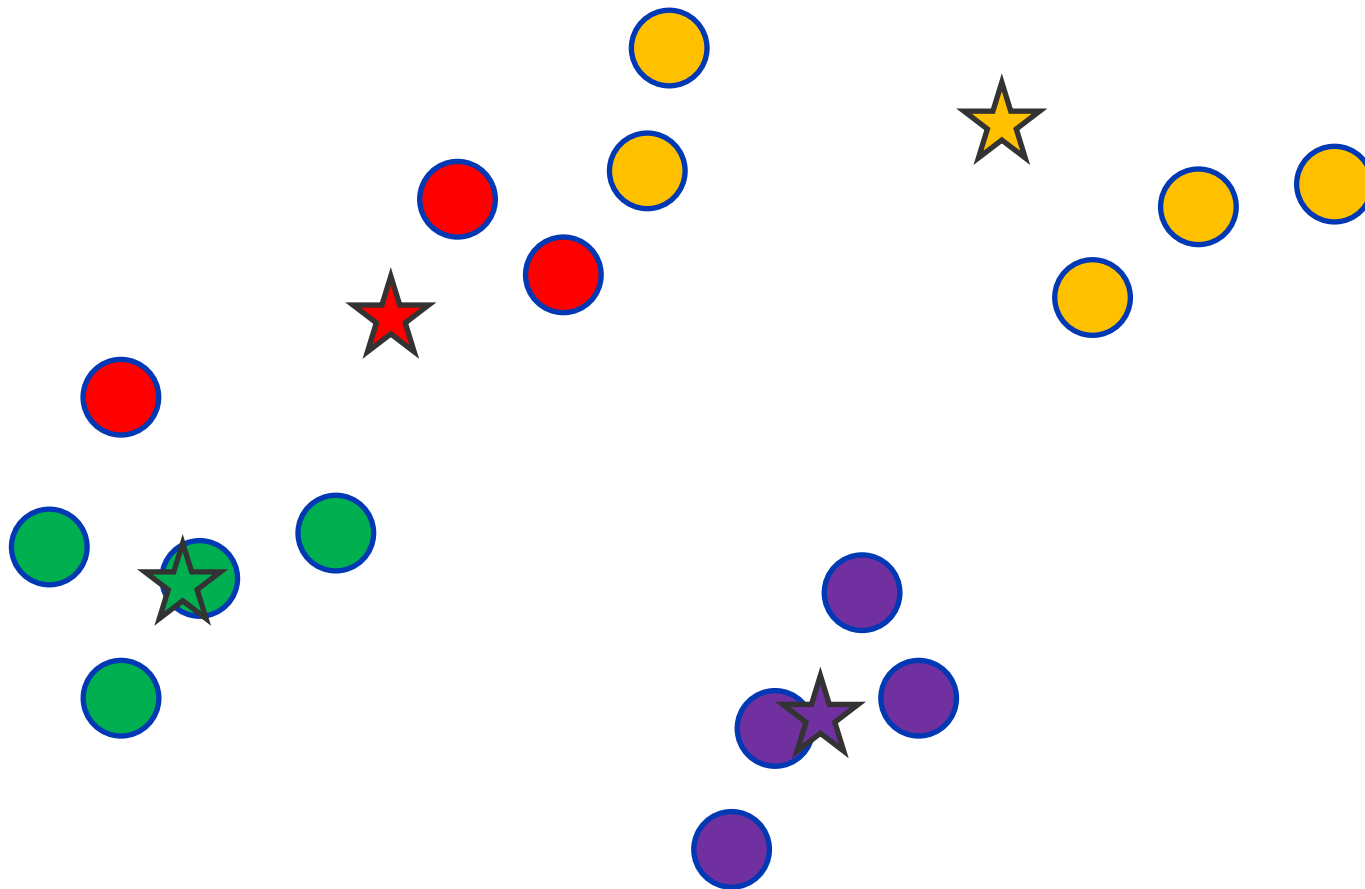
Начальное приближение центров кластеров



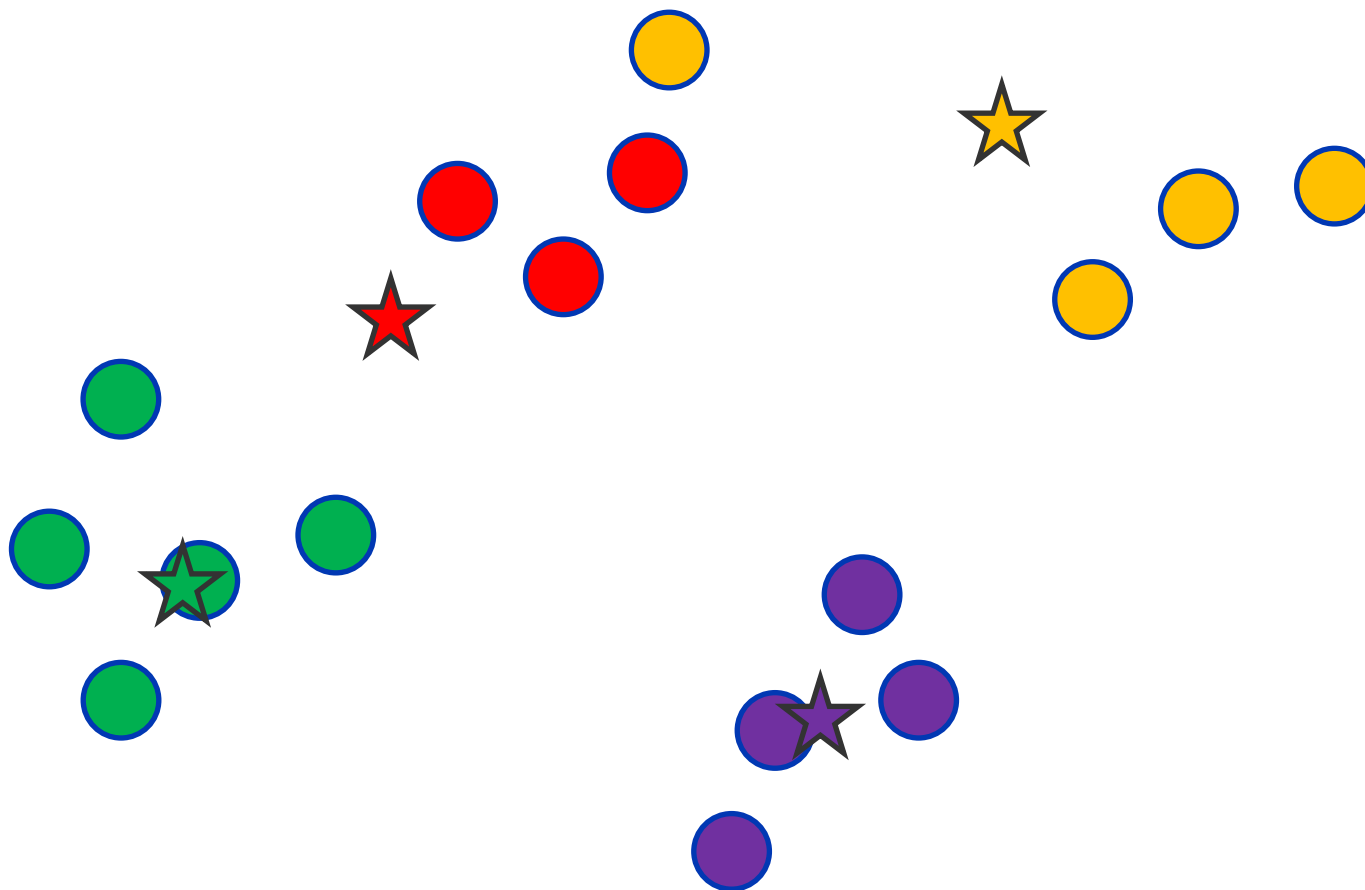
Распределяем объекты ближайшим центрам



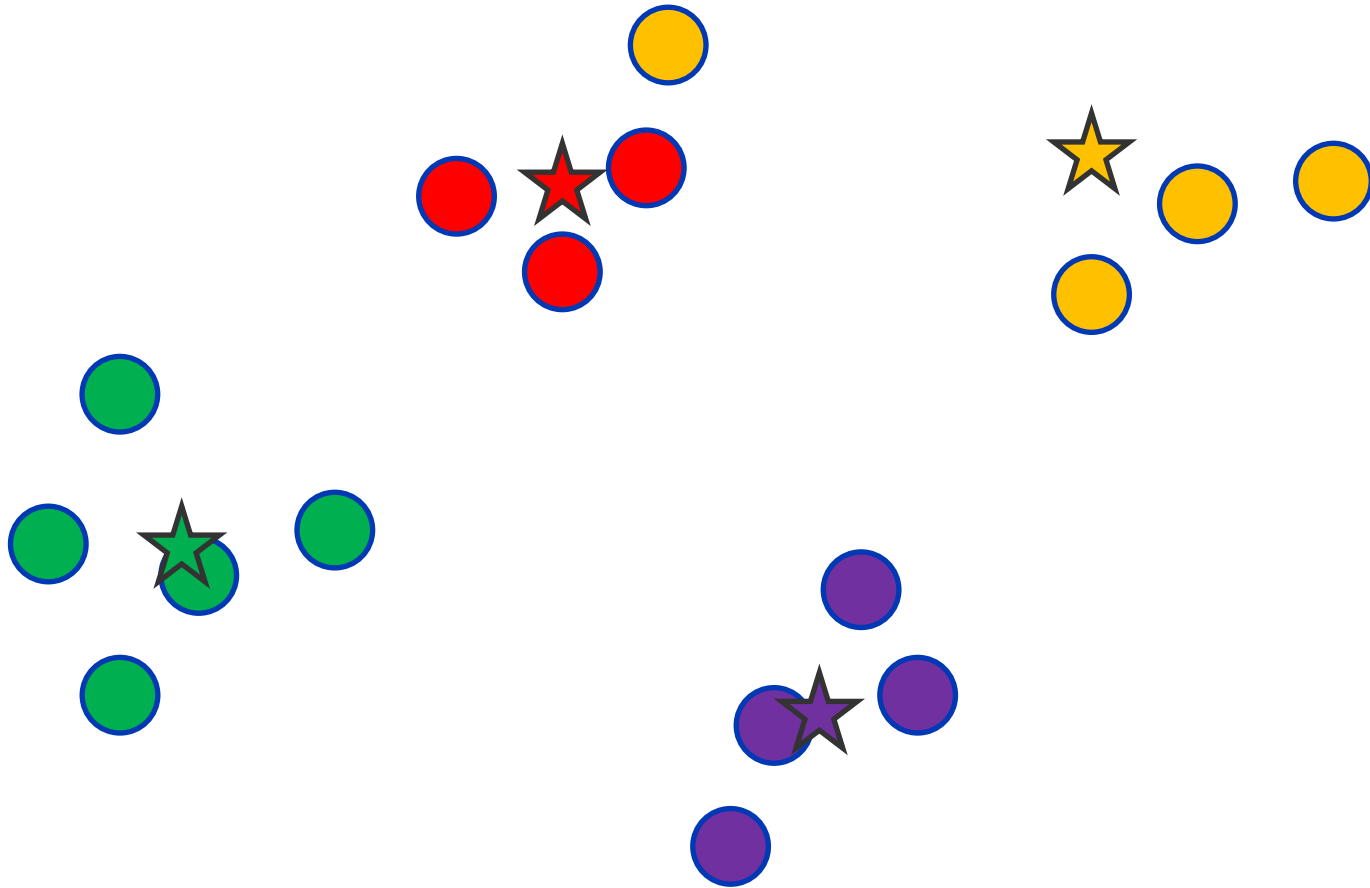
Уточняем положения центров



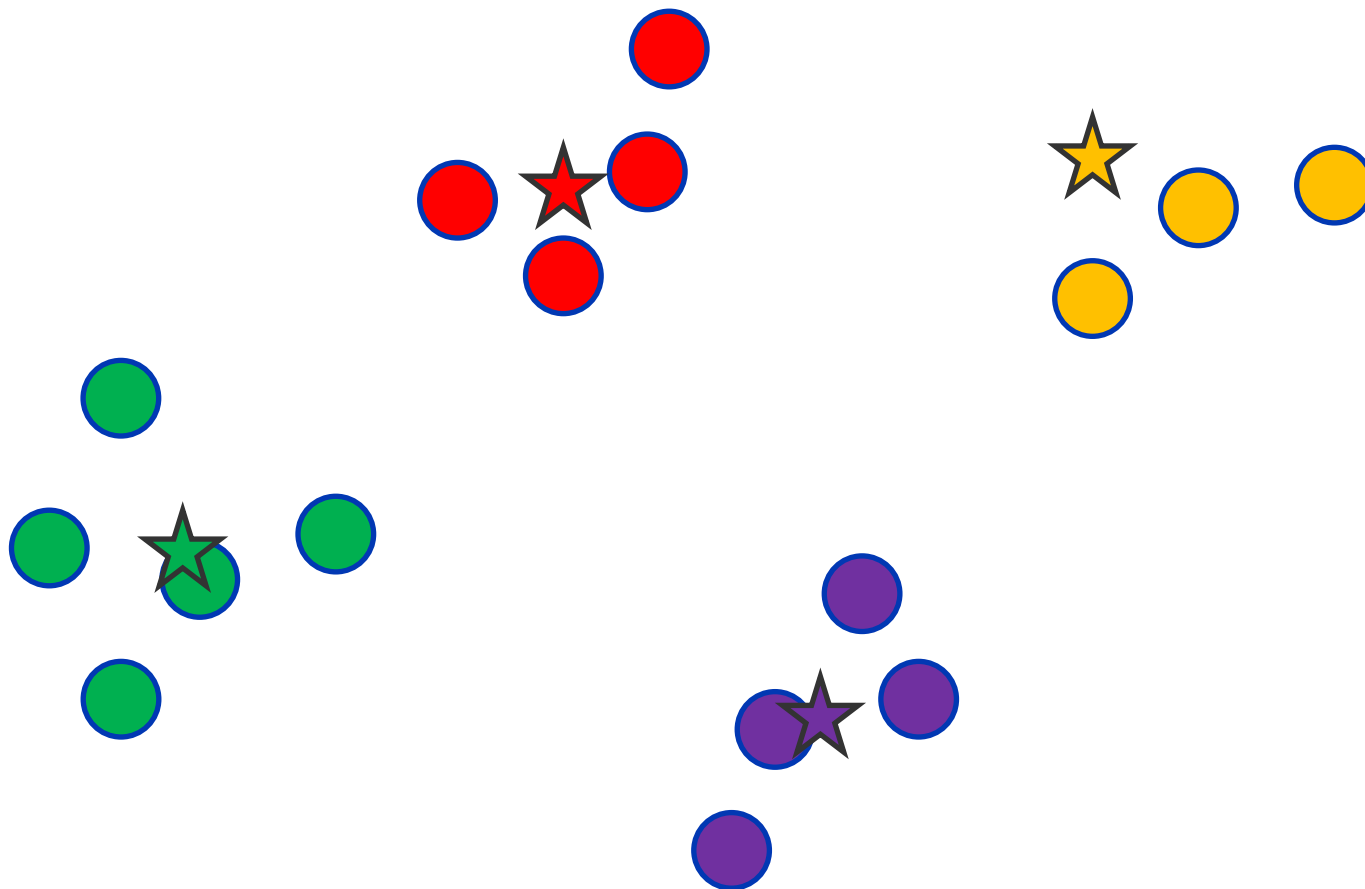
Перераспределяем объекты



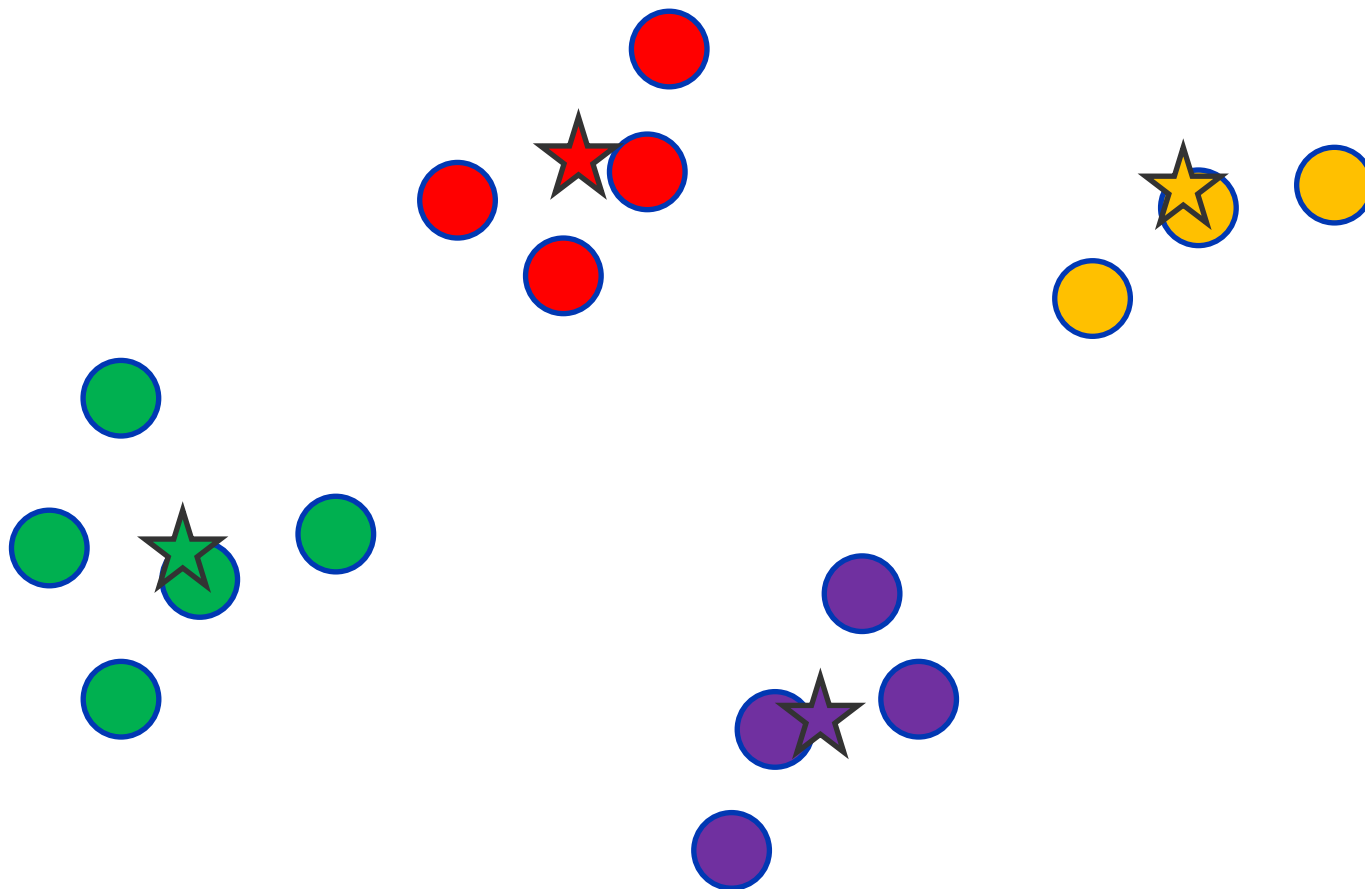
Снова уточняем положения центров



И ещё раз – перераспределяем
объекты...



... и уточняем положения центров.
Кластеризация готова!



А ведь картинки могут быть и совсем другие...



кластеры могут соединяться перемычками



кластеры могут накладываться на разреженный фон из редко расположенных объектов



кластеры могут перекрываться

А ведь картинки могут быть и совсем другие...



кластеры могут образовываться не по сходству, а по иным типам регулярностей



кластеры могут вообще отсутствовать

Зачем нужна задача кластеризации?

- Упростить дальнейшую обработку данных: разбить множество объектов на группы схожих объектов, чтобы работать с каждой группой в отдельности
- Сократить объём хранимых данных, оставив по одному представителю от каждого кластера (задачи сжатия данных)
- Выделить нетипичные объекты, которые не подходят ни к одному из кластеров
- Построить иерархию множества объектов

Заключение

Что еще есть в машинном обучении?

- Ассоциативные правила
- Частичное обучение
- Пропуски в данных

Решения задач

- Отбор признаков
- Перебор параметров
- Методы часто приходится придумывать самому

Полезные материалы и ссылки

Литература

- Курс лекций К.В. Воронцова по машинному обучению
- Вики-ресурс, посвященный машинному обучению
- Лекции Юрия Лифшица по структурам и алгоритмам для поиска ближайших соседей (на английском, хотя лектор из Питера)
- Классические лекции по машинному обучению (на английском)
- Отчет победителей соревнования по прогнозированию пробок
- Отчет по решению, занявшему третье место на соревновании по категоризации текстов
- Методическое пособие по Matlab и алгоритмам машинного обучения

Соревнования и задачи

- Категоризация текстов
- Распознавание пешеходов
- Прогнозирование пробок

Очень интересные статьи о решении реальных задач:

- Дьяконов А.Г. «Шаманство в анализе данных»
- Дьяконов А.Г. «Введение в анализ данных»