

Компьютерное Зрение
Лекция № 8, осень 2023

Распознавание образов



Кафедра
технологий
проектирования
сложных
технических
систем

Что будем изучать сегодня

- Object detection
 - Задача и постановка
 - Простой детектор
 - Модели на частичном распознавании (Deformable parts model)

Object Detection



Credit: Flickr user [neilalderney123](#)

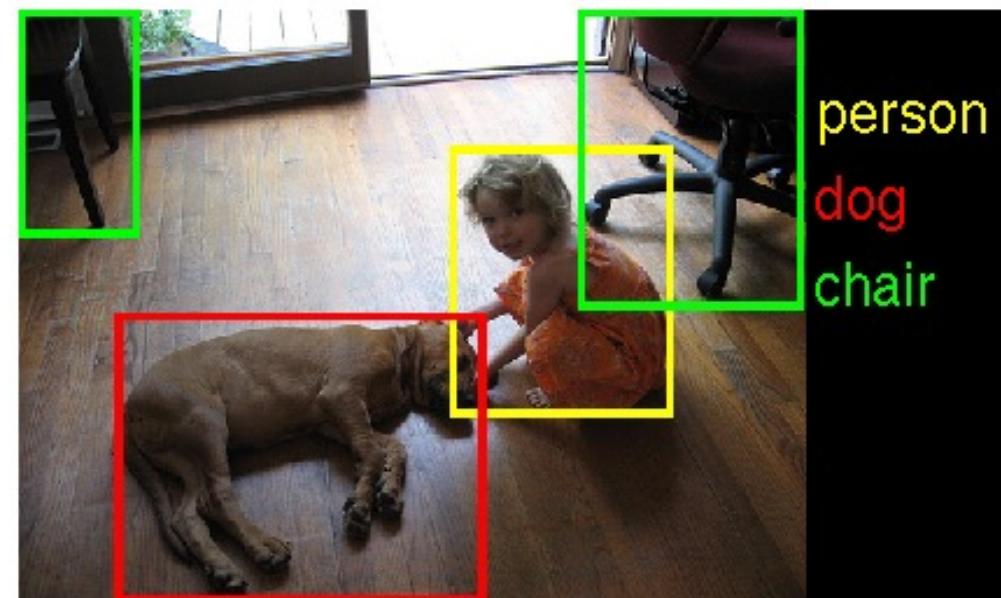
- Что видим на изображении?

Object Detection

- **Задача:** Обнаружить и классифицировать объекты различных категорий

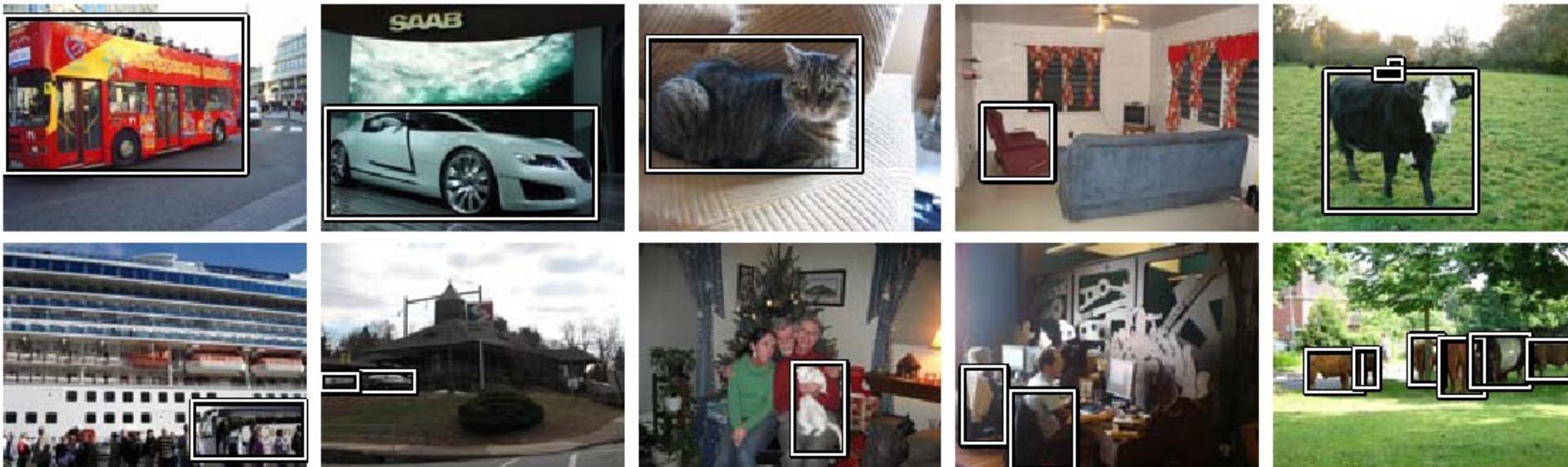
Проблемы:

- Освещение,
- Точка наблюдения
- Деформации
- Искажения
- Внутриклассовая изменчивость



Object Detection Benchmarks

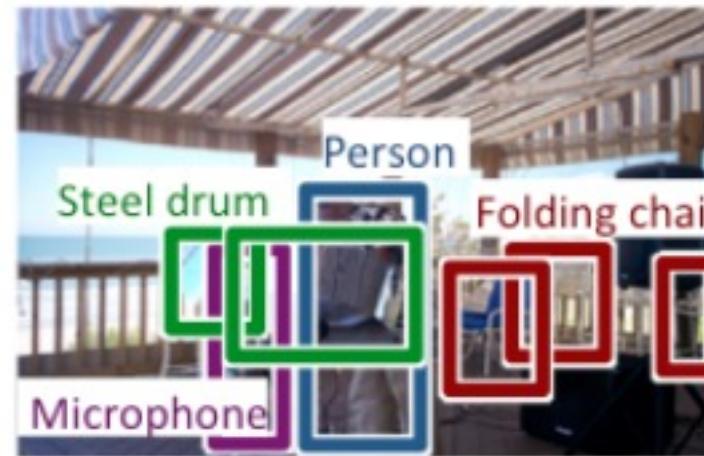
- PASCAL VOC Challenge



- 20 категории
- Классификация, обнаружение, сегментация, ...

Object Detection Benchmarks

- PASCAL VOC Challenge
- ImageNet Large Scale Visual Recognition Challenge (ILSVR)
 - 200 категорий



Object Detection Benchmarks

- PASCAL VOC Challenge
- ImageNet Large Scale Visual Recognition Challenge (ILSVR)
- Common Objects in Context (COCO)
 - 80 категорий



Как будем измерять качество?



— predictions
— ground truth

Как будем измерять качество?



— predictions

— ground truth

True positive:

- Перекрытие prediction с ground truth **больше**, чем 0.5

Как будем измерять качество?



— predictions

— ground truth

True positive:

False positive:

- Пересечение
prediction с ground
truth **меньше**, чем 0.5

Как будем измерять качество?



— predictions

— ground truth

True positive:

False positive:

False negative:

- Объекты, которые
не были найдены

Как будем измерять качество?



— predictions
— ground truth

True positive:

False positive:

False negative:

- Объекты, которые не были найдены

Тогда что такое **True Negative**?

	<u>Predicted 1</u>	<u>Predicted 0</u>
<u>True 1</u>	true positive	false negative
<u>True 0</u>	false positive	true negative

	<u>Predicted 1</u>	<u>Predicted 0</u>
<u>True 1</u>	true positive	false negative
<u>True 0</u>	false positive	true negative

	<u>Predicted 1</u>	<u>Predicted 0</u>
<u>True 1</u>	TP	FN
<u>True 0</u>	FP	TN

	<u>Predicted 1</u>	<u>Predicted 0</u>
<u>True 1</u>	true positive	false negative
<u>True 0</u>	false positive	true negative

	<u>Predicted 1</u>	<u>Predicted 0</u>
<u>True 1</u>	TP	FN
<u>True 0</u>	FP	TN

	<u>Predicted 1</u>	<u>Predicted 0</u>
<u>True 1</u>	hits	misses
<u>True 0</u>	false alarms	correct rejections

	<u>Predicted 1</u>	<u>Predicted 0</u>
<u>True 1</u>	true positive	false negative
<u>True 0</u>	false positive	true negative

	<u>Predicted 1</u>	<u>Predicted 0</u>
<u>True 1</u>	TP	FN
<u>True 0</u>	FP	TN

	<u>Predicted 1</u>	<u>Predicted 0</u>
<u>True 1</u>	hits	misses
<u>True 0</u>	false alarms	correct rejections

$$precision = \frac{TP}{TP + FP}$$

$$recall = \frac{TP}{TP + FN}$$

Как будем измерять качество?



— predictions
— ground truth

True positive: 1

False positive: 2

False negative: 1

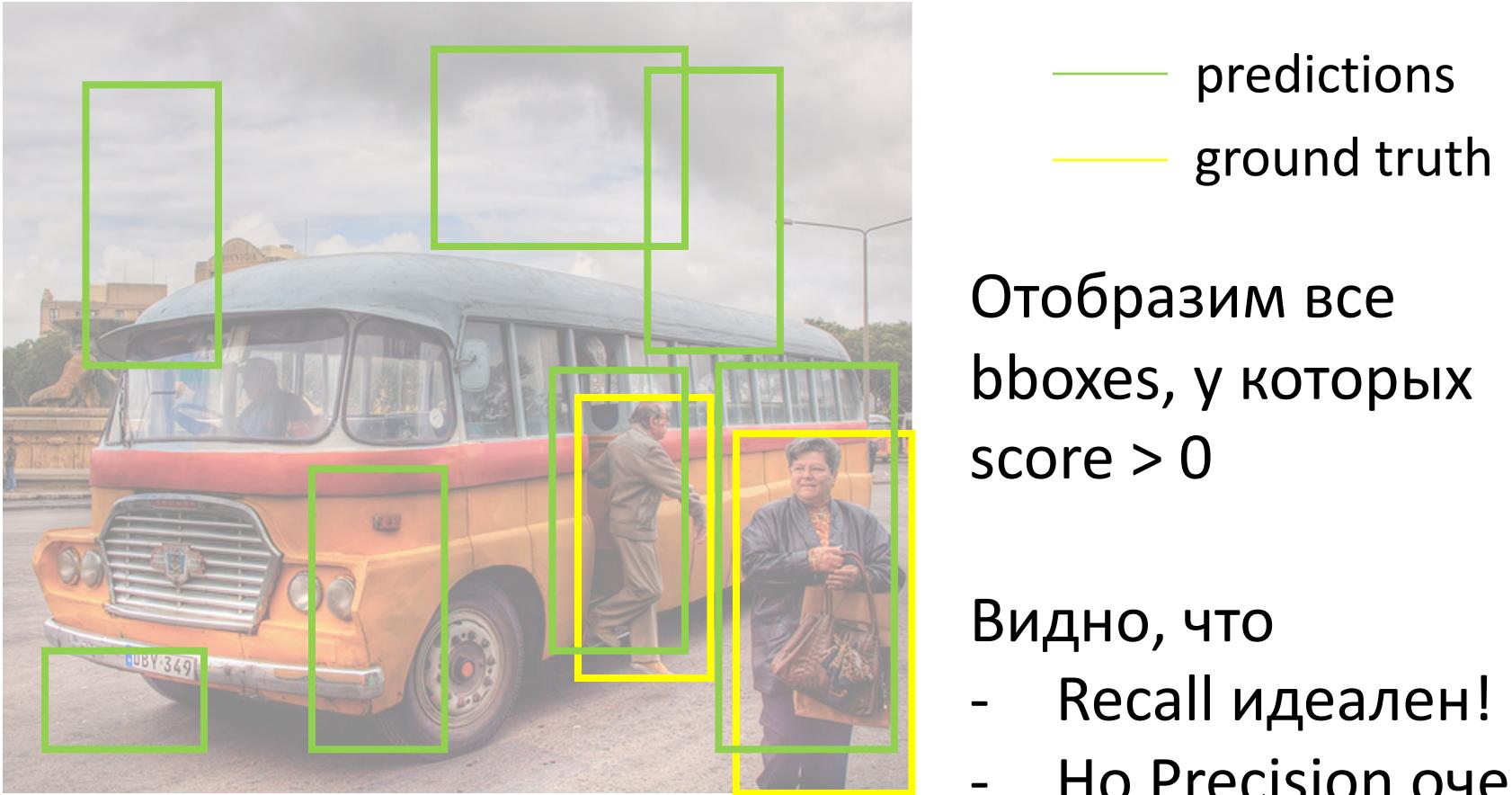
Тогда как считать

- precision?
- recall?

Precision versus recall

- Precision:
 - Как много объектов было обнаружено верно?
- Recall:
 - Как много истинных объектов (ground truth) может обнаружить модель?

В реальности наша модель делает много прогнозов с различными оценками от 0 до 1



Отобразим все
bboxes, у которых
 $score > 0$

Видно, что

- Recall идеален!
- Но Precision очень плох!

Как будем измерять качество?

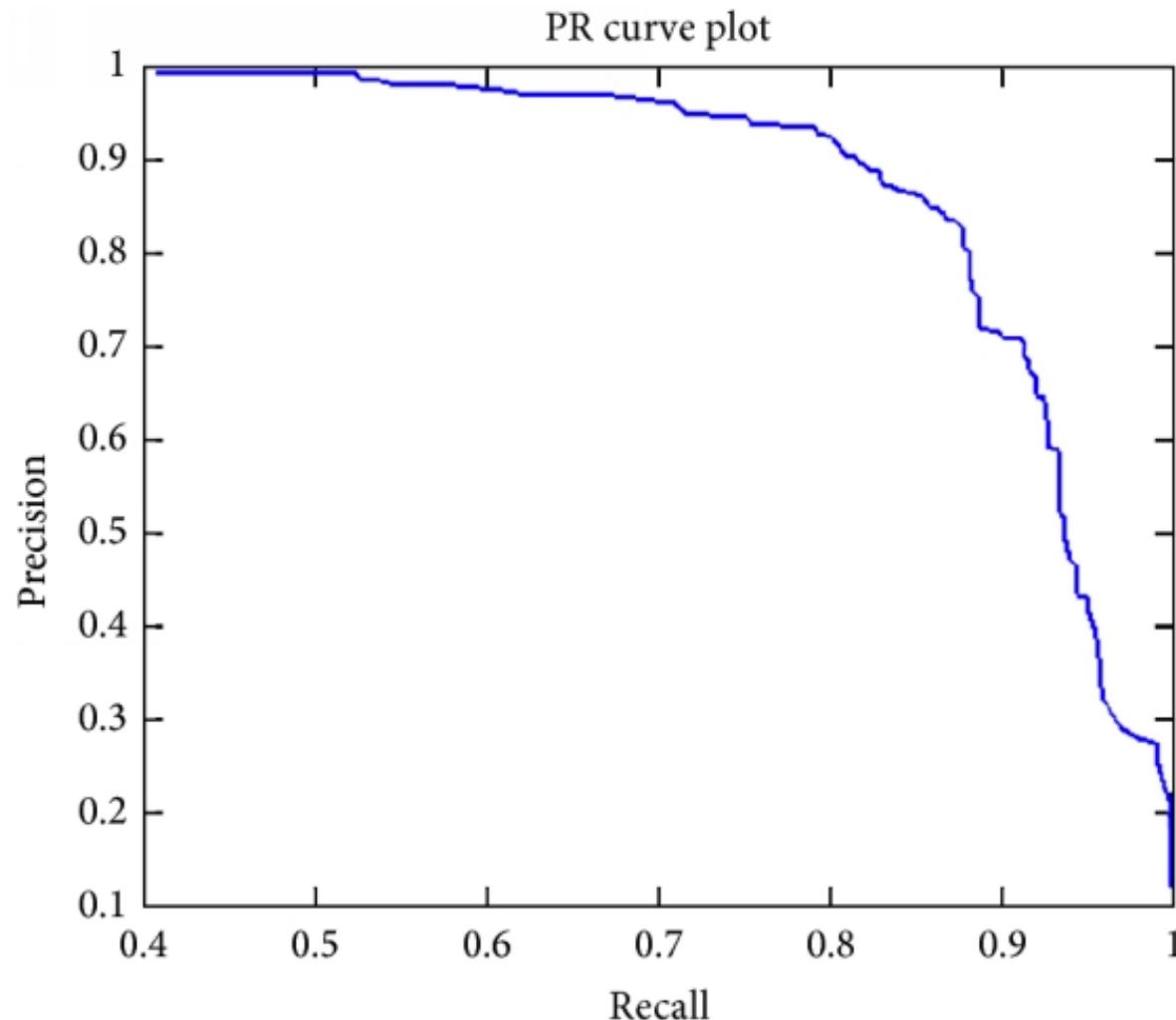


— predictions
— ground truth

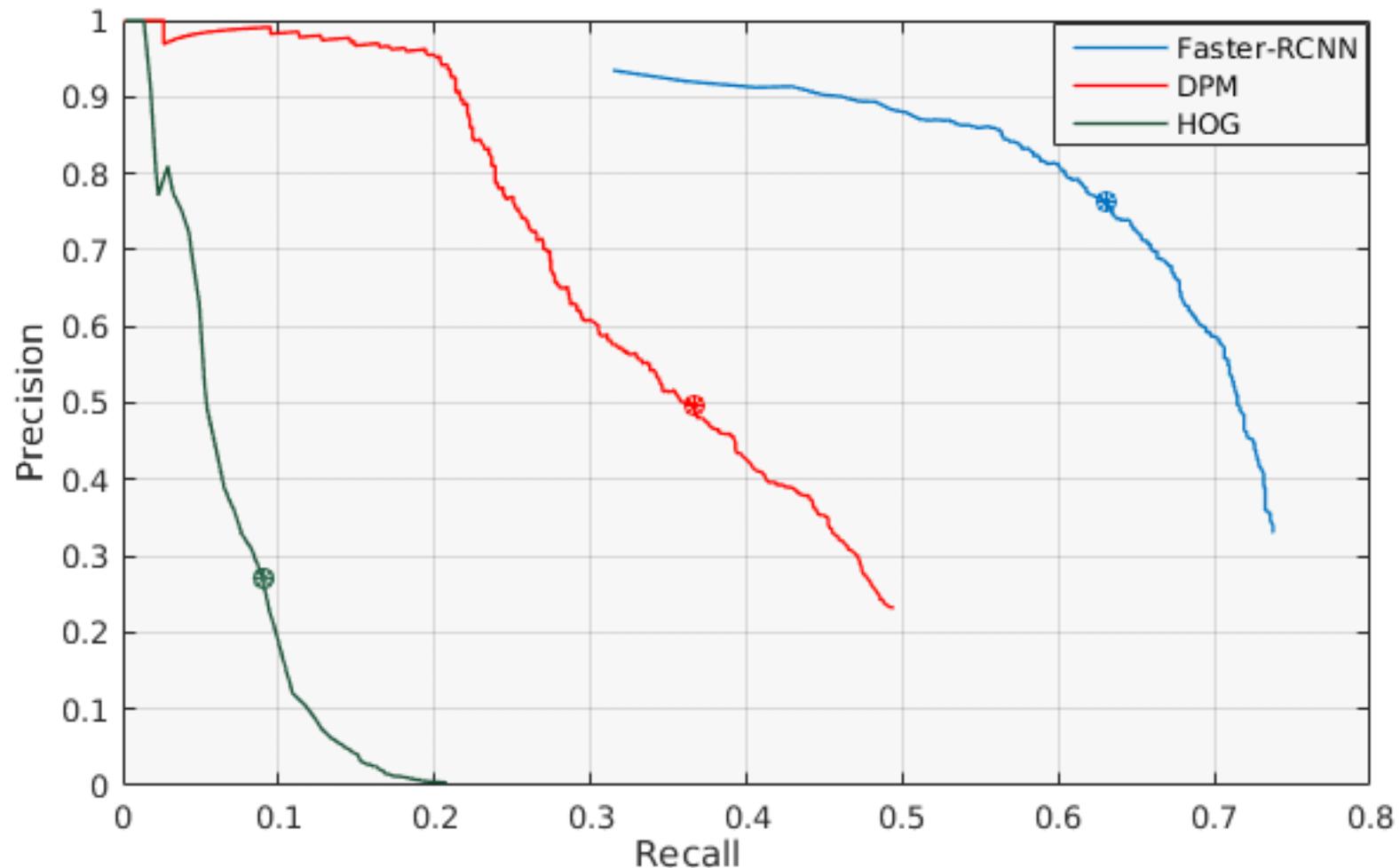
Отобразим только те
bboxes, где $score > 0.5$

Установим порог
равный 0.5

Precision – recall curve (PR curve)



Какая модель лучше?



True Positives - Person

UoCTTI_LSVM-MDPM



MIZZOU_DEF-HOG-LBP



NECUIUC_CLS-DTCT



False Positives - Person

UoCTTI_LSVM-MDPM



MIZZOU_DEF-HOG-LBP



NECUIUC_CLS-DTCT



“Near Misses” - Person

UoCTTI_LSVM-MDPM



MIZZOU_DEF-HOG-LBP



NECUIUC_CLS-DTCT



True Positives - Bicycle

UoCTTI_LSVM-MDPM



OXFORD_MKL



NECUIUC_CLS-DTCT



False Positives - Bicycle

UoCTTI_LSVM-MDPM



OXFORD_MKL



NECUIUC_CLS-DTCT



Что будем изучать сегодня

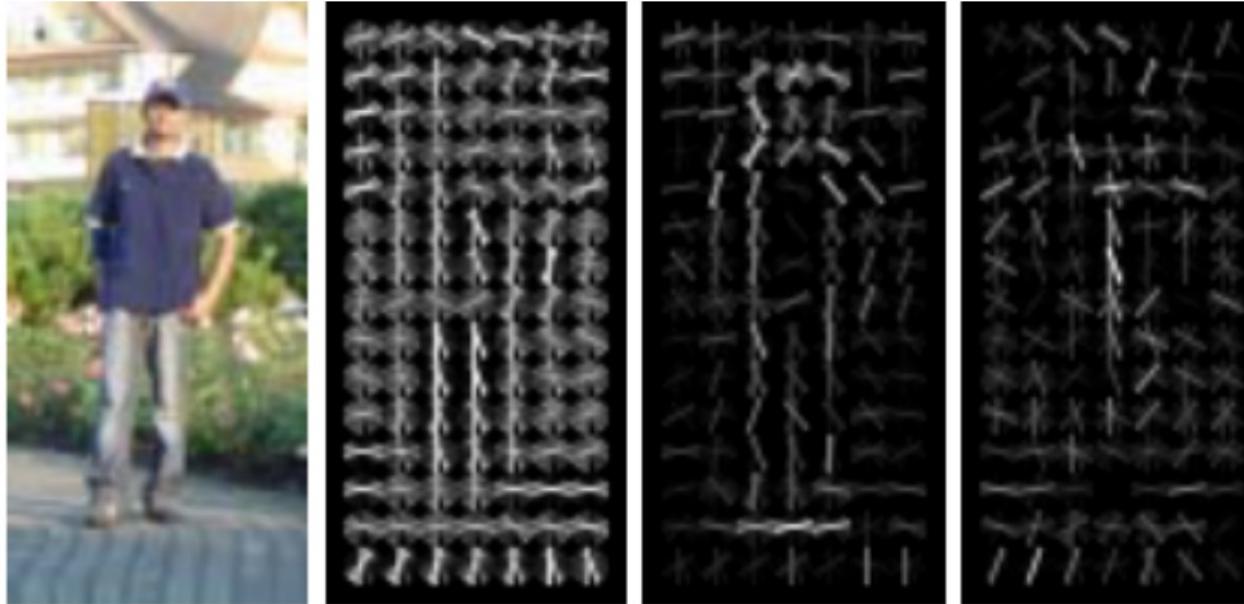
- Object detection
 - Задача и постановка
- Простой детектор
- Модели на частичном распознавании (Deformable parts model)

Dalal-Triggs метод



sliding window

Повторение. HOG фичи



Находим шаблон HOG и используем в качестве шаблона

Sliding window + hog features



- Просмотрим окно изображения и проверим, есть ли там объект

No person here

Sliding window + hog features



- Просмотрим окно изображения и проверим, есть ли там объект

YES!! Person match found

Sliding window + hog features



- Но что если мы ищем
что-то другое?
Например, автобус

No bus found

Sliding window + hog features



- Но что если мы ищем
что-то другое?
Например, автобус

No bus found

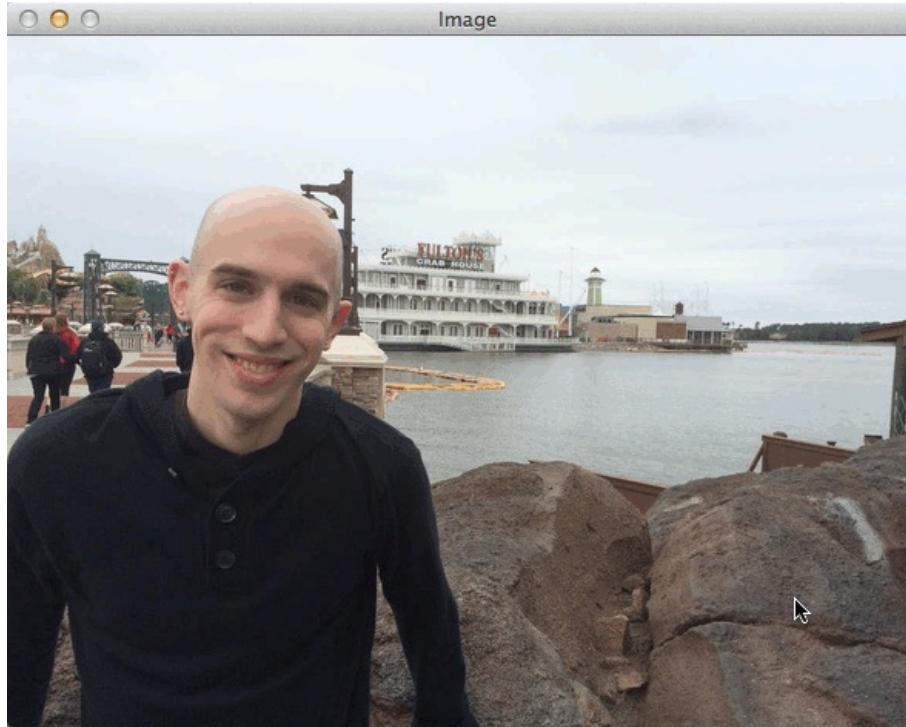
Sliding window + hog features



- Мы никогда не найдем объект, если не подберем верный размер окна изображения

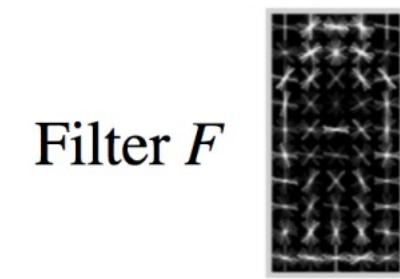
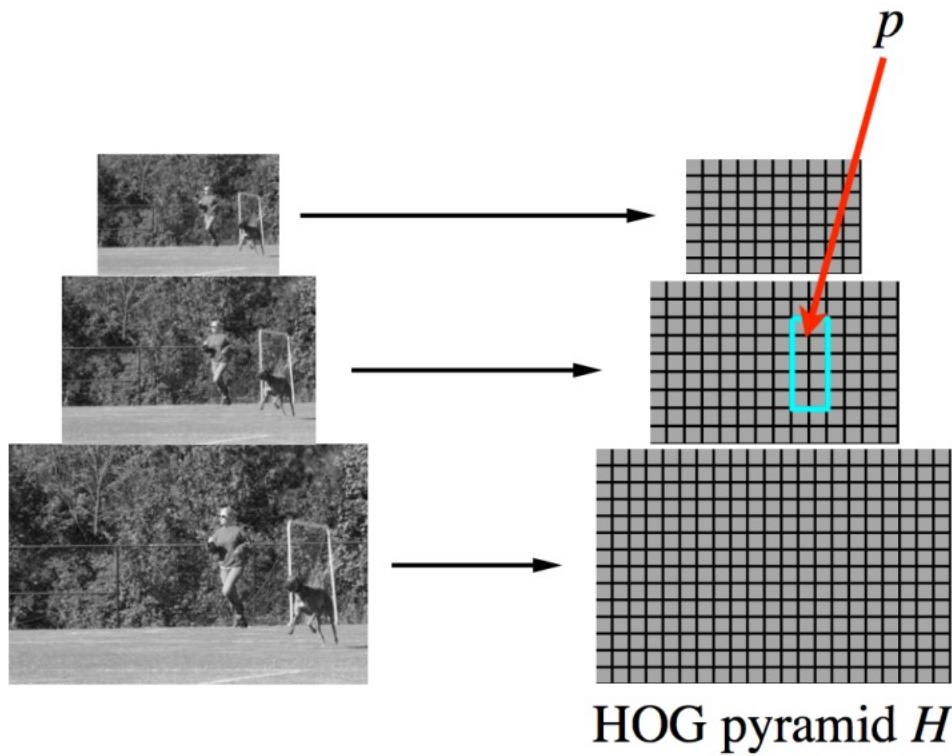
No bus found

Sliding window + hog features



Нужно использовать **multi scale** sliding window

Создадим feature pyramid



Score of F at position p is
$$F \cdot \phi(p, H)$$

$\phi(p, H) = \text{concatenation of}$
HOG features from
subwindow specified by p

Что будем изучать сегодня

- Object detection
 - Задача и постановка
- Простой детектор
- Модели на частичном распознавании (Deformable parts model)

Повторение. Bag of visual words

- Можем представить изображение (образ) в виде «набора слов», где слово – обозначает часть изображения (образа)

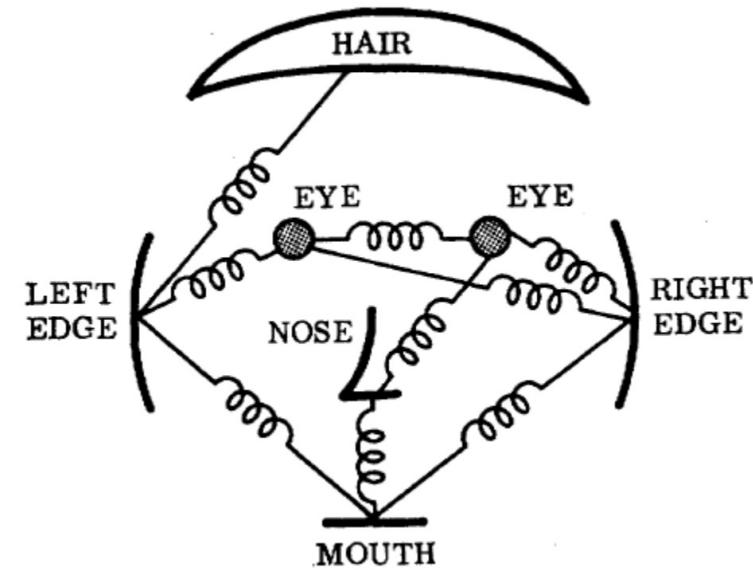
Bag of ‘words’



- Можем ли мы сделать то же самое для объектов внутри этих изображений?

Deformable parts model

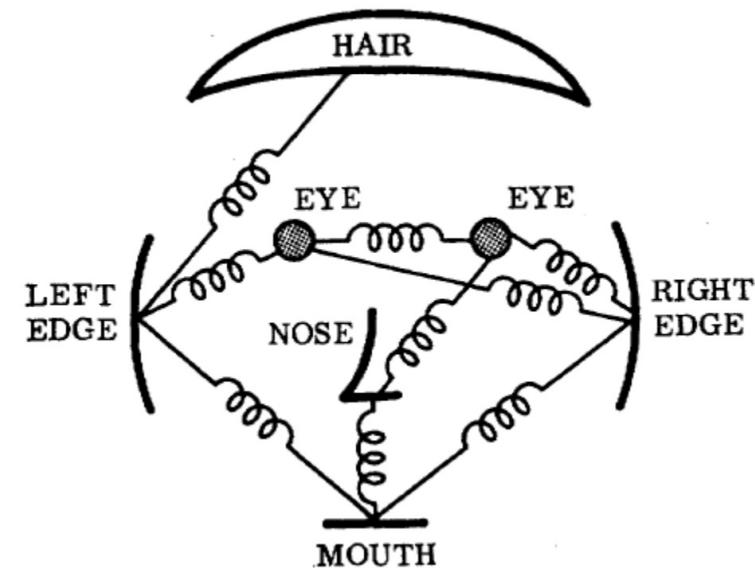
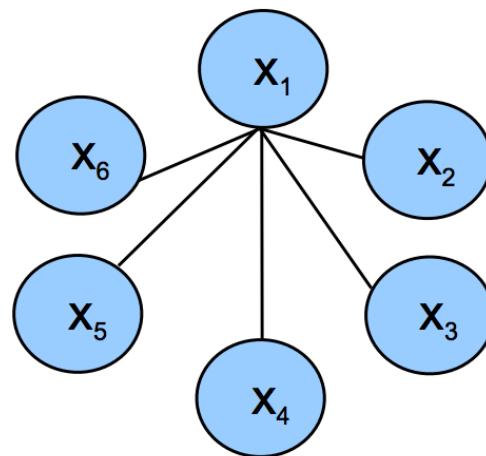
- Представим объект в виде коллекции деталей, расположенных в деформируемой конфигурации
- Каждая часть представляет собой локальные выступления
- Детали соединены «пружиноподобными связями»



Fischler and Elschlager,
Pictoral Structures,
1973

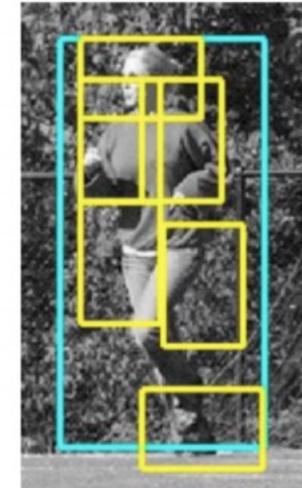
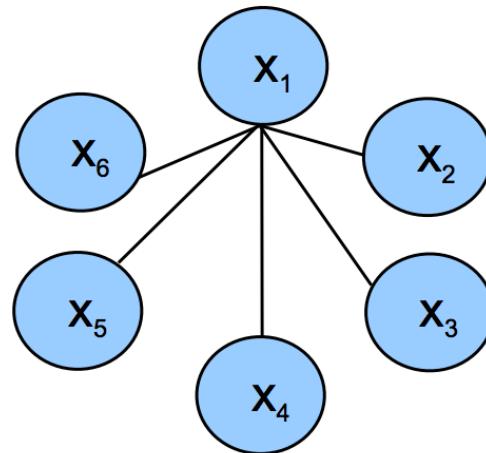
Deformable parts model

- Части объекта образуют парные отношения.
- Мы можем смоделировать это, используя «графовую модель», где каждая часть определяется относительно корня



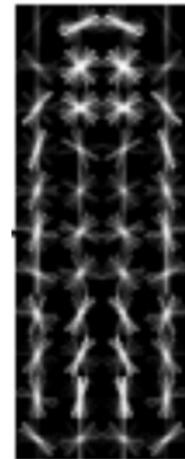
Обнаружение человека по его частям

- Например, человек может быть смоделирован так: имеет голову, левую руку, правую руку и т.д.
- Все части могут быть смоделированы относительно глобального детектора человека, который выглядит, как граф (дерево)

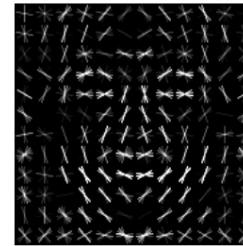


Deformable parts model

- Каждая модель будет иметь **глобальный фильтр** и набор фильтров деталей. Приведем пример глобального фильтра для людей с фильтром частей "голова":

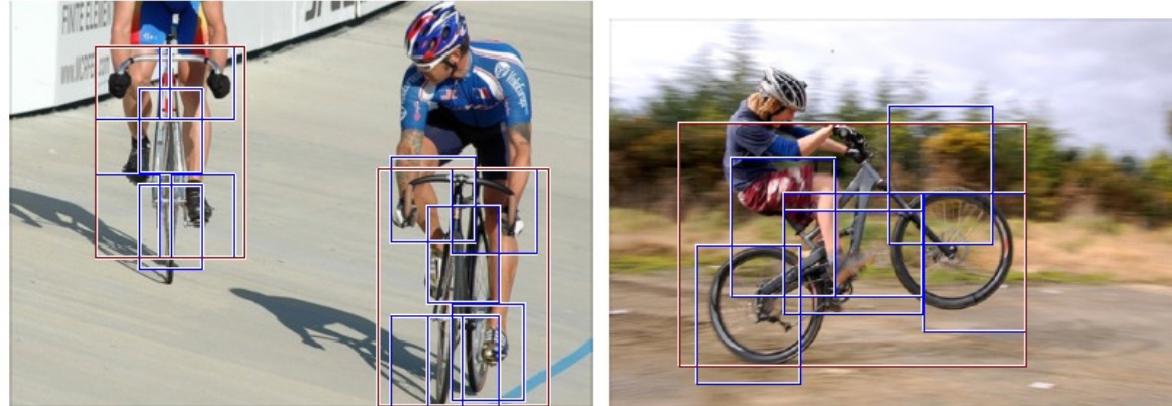


Global/root
filter



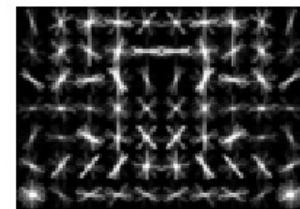
Part
filter

Двухкомпонентная модель велосипеда

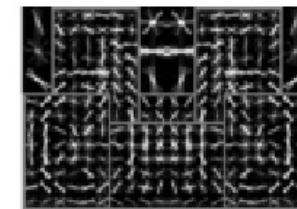


"вид сбоку"
компонент модели
велосипеда

Root filter

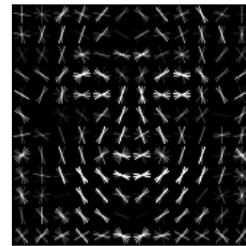
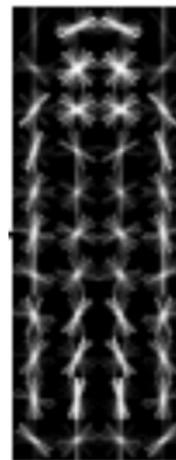


Part filters

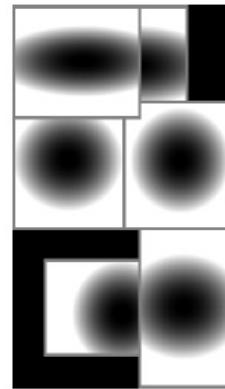
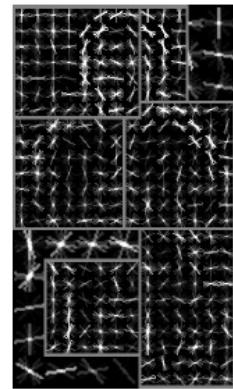
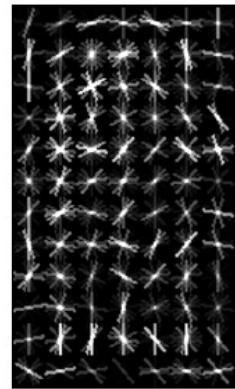
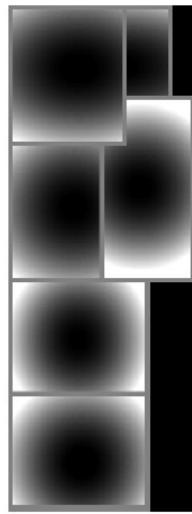
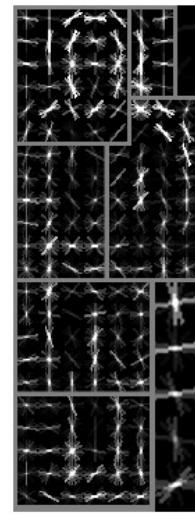
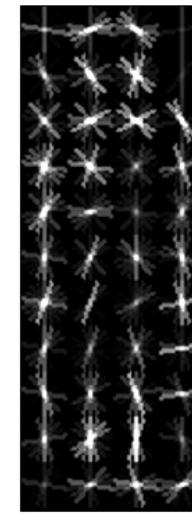
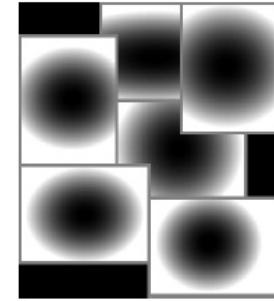
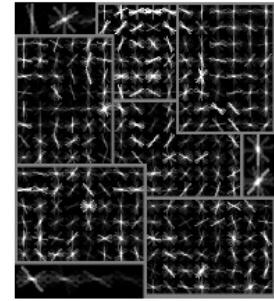


Deformable parts model

- Ансамбль деформируемых моделей деталей
- Каждый компонент имеет глобальный компонент + деформируемые части
- Фильтры деталей имеют более тонкие особенности образа

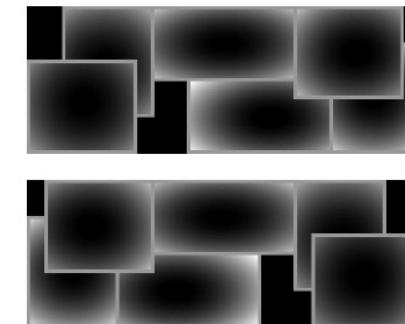
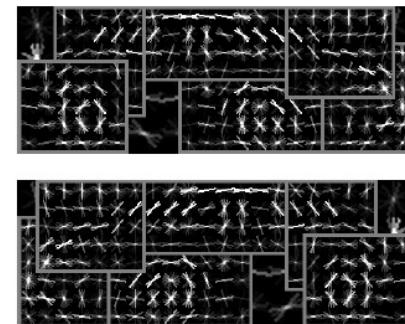
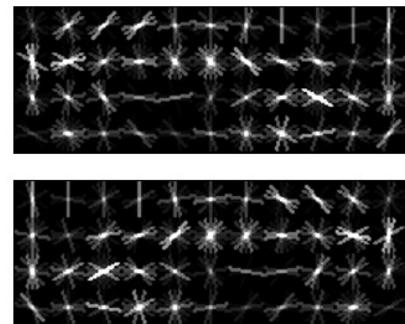


Шестикомпонентная модель человека

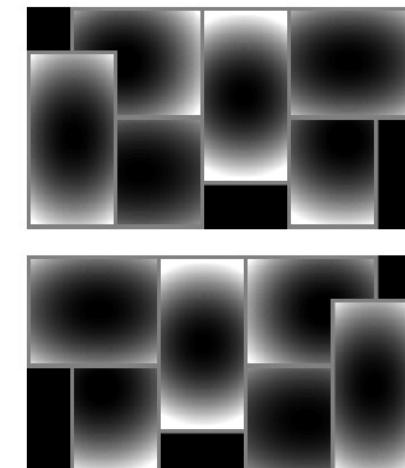
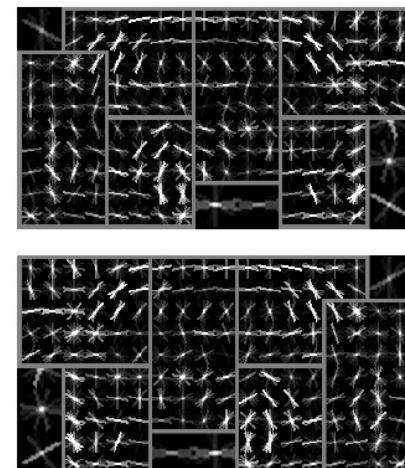
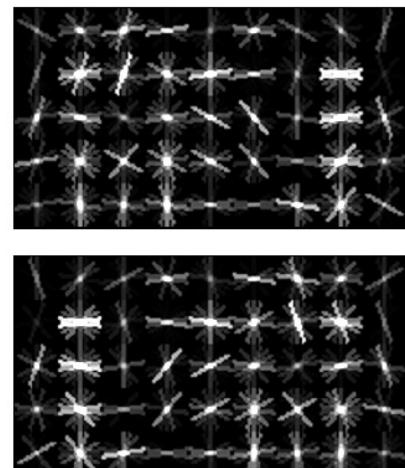


Шестикомпонентная модель машины

side view



frontal view

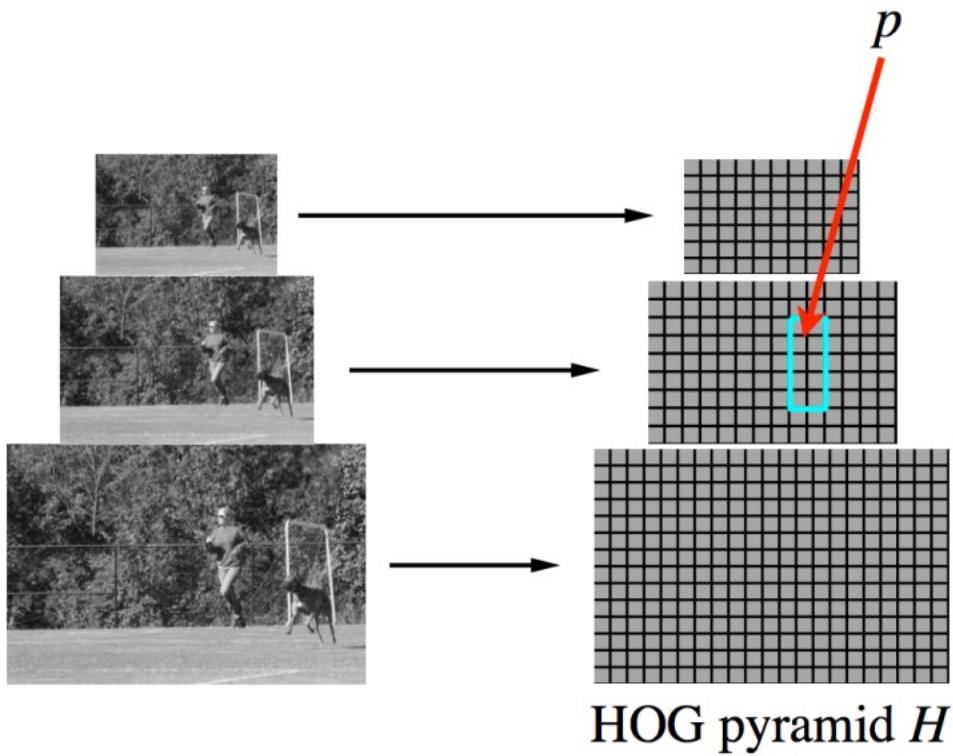


root filters (coarse)

part filters (fine)

deformation models

Вспомним метод Dalal-Triggs



Filter F



Score of F at position p is
$$F \cdot \phi(p, H)$$

$\phi(p, H) = \text{concatenation of}$
HOG features from
subwindow specified by p

Deformable parts model

- A model for an object with n parts is a $(n + 2)$ tuple:

$$(F_0, P_1, \dots, P_n, b)$$

Root filter Model for 1st part Bias term

- Each part-based model defined as:

$$(F_i, v_i, d_i)$$

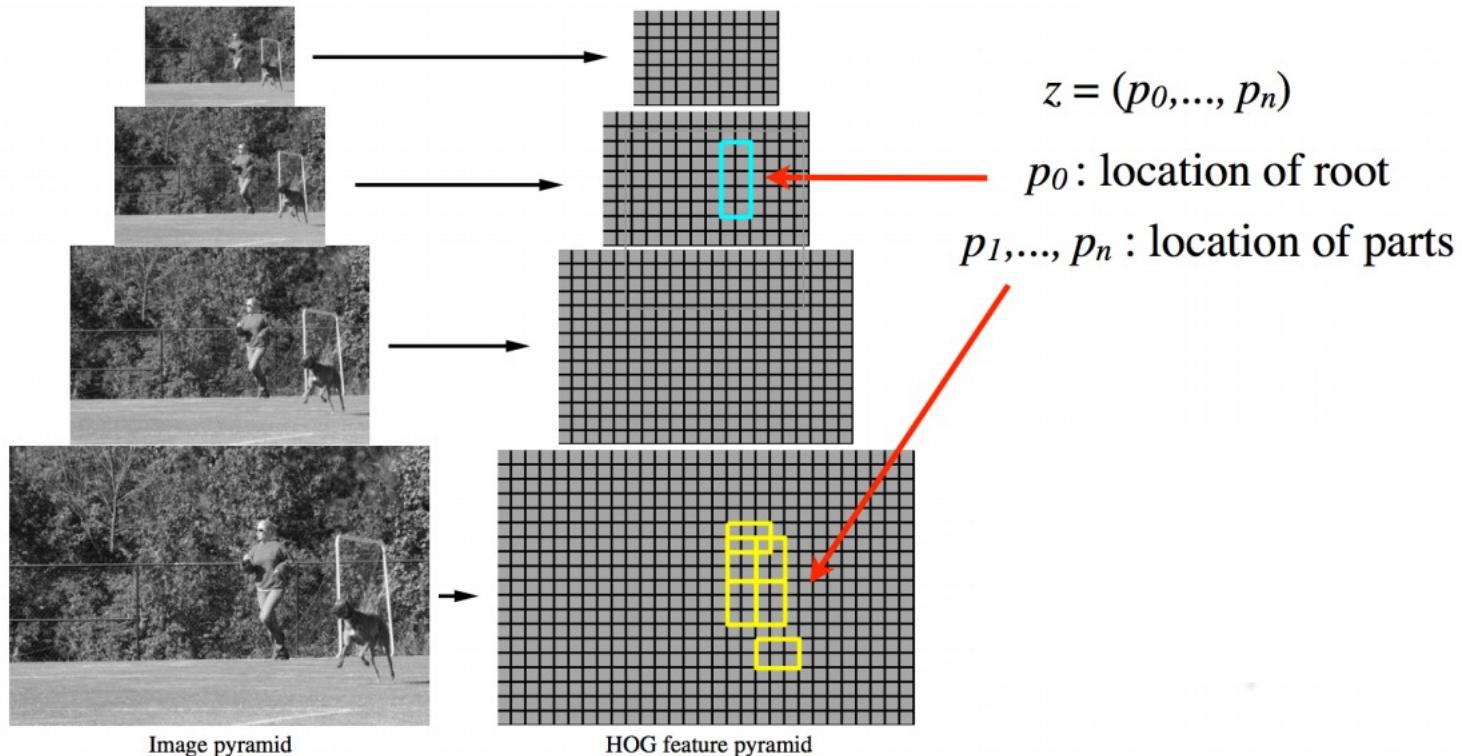
F_i filter for the i -th part

v_i “anchor” position for part i relative to the root position

d_i defines a deformation cost for each possible placement of the part relative to the anchor position

Деформируемые части вычисляют локальную оценку в каждом масштабе для расчета глобальной оценки

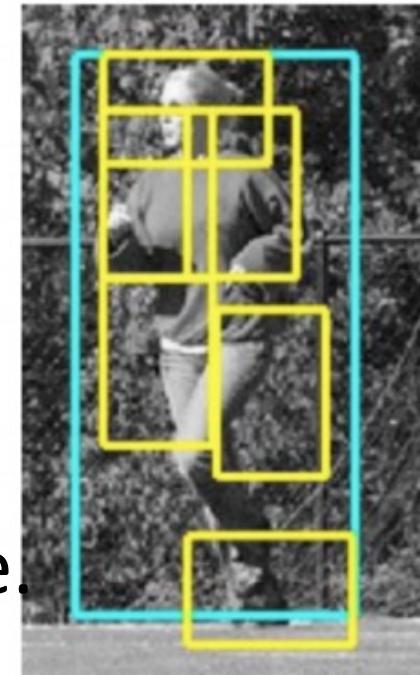
$p_i = (x_i, y_i, l_i)$ specifies the level and position of the i -th filter



Расчет оценки качества обнаружения

Сумма баллов за обнаружение определяется как сумма баллов для глобальных детекторов и детекторов деталей за вычетом суммы затрат на деформацию для каждой детали.

Это означает, что если детектор части очень далеко от того, где они должны быть, возможно, это ложное срабатывание.



Calculating the score for a detection

Сумма баллов за обнаружение определяется как сумма баллов для глобальных детекторов и детекторов деталей за вычетом суммы затрат на деформацию для каждой детали.

detection score

$$= \sum_{i=0}^n F_i \phi(p_i, H) - \sum_{i=1}^n d_i(\Delta x_i, \Delta y_i, \Delta x_i^2, \Delta y_i^2)$$

Calculating the score for a detection

detection score

$$= \sum_{i=0}^n F_i \phi(p_i, H) - \sum_{i=1}^n d_i(\Delta x_i, \Delta y_i, \Delta x_i^2, \Delta y_i^2)$$

Score для каждого фильтра
детали + глобальный фильтр
(аналогично по Dalal-Triggs).

Calculating the score for a detection

detection score

$$= \sum_{i=0}^n F_i \phi(p_i, H) - \sum_{i=1}^n d_i(\Delta x_i, \Delta y_i, \Delta x_i^2, \Delta y_i^2)$$

Затраты на деформацию каждой детали:

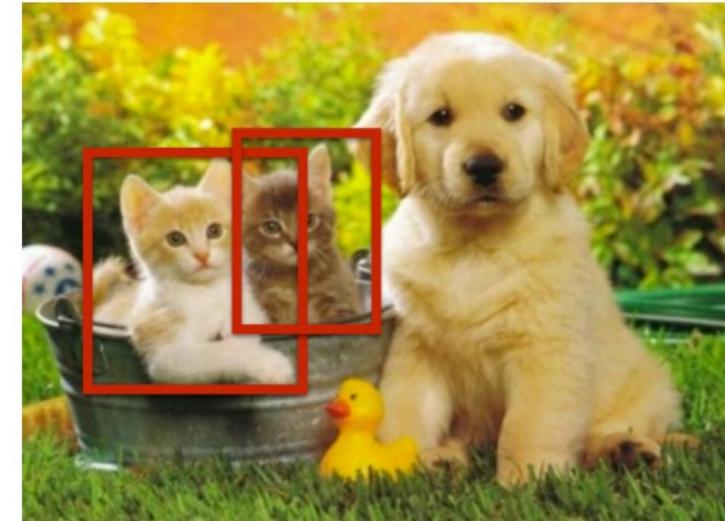
Δx_i измеряет расстояние в x-направлении от того места, где должна находиться часть i.

Δy_i измеряет аналогичное расстояние в направлении оси y.

d_i - это вес, связанный с частью i, который наказывает часть за то, что она уехала.

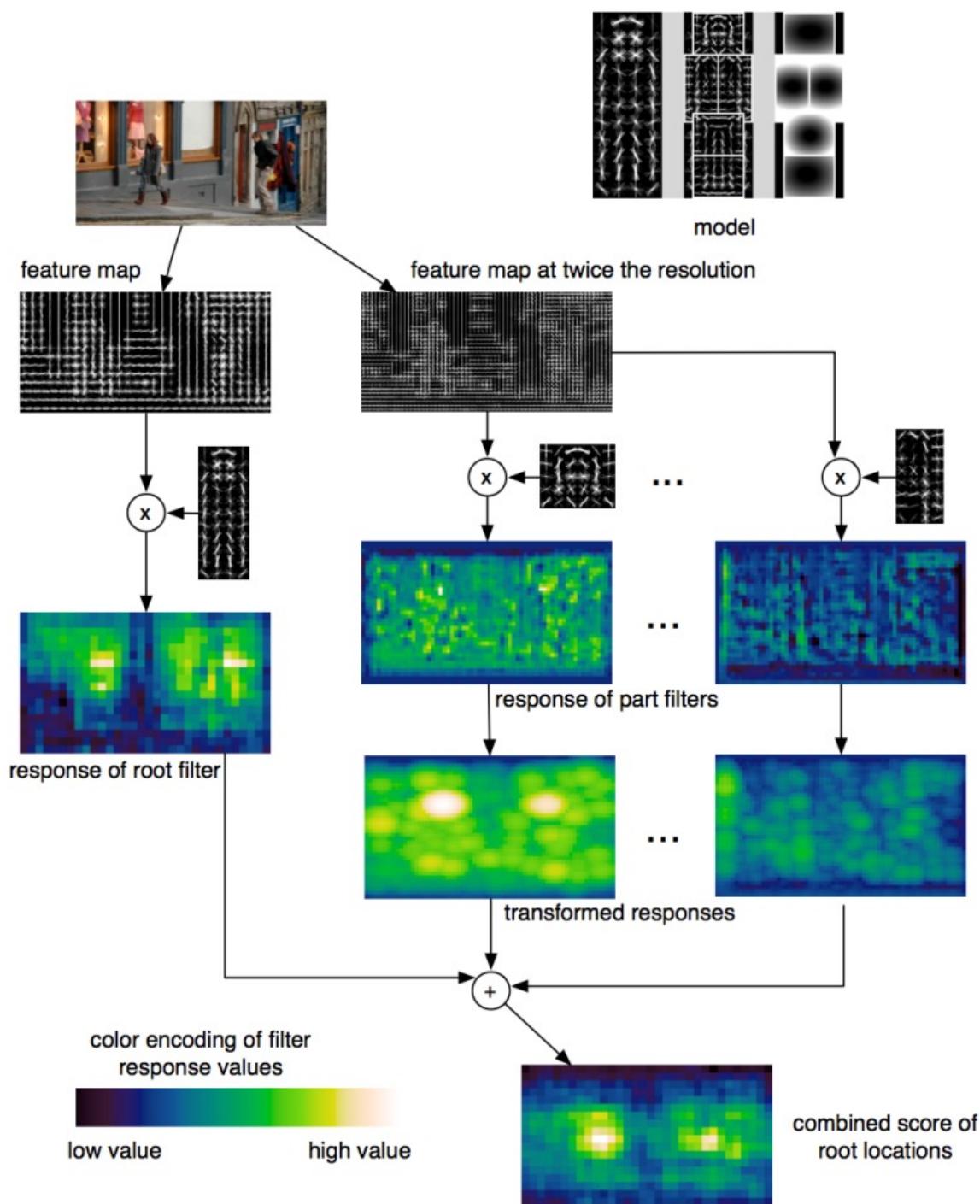
Detection pipeline

- Итак, для обнаружения мы используем технику скользящего окна, а также глобальные фильтры и фильтры деталей.
- Чтобы добиться обнаружения, мы накапливаем общий балл и баллы детали и наказываем за деформацию деталей.



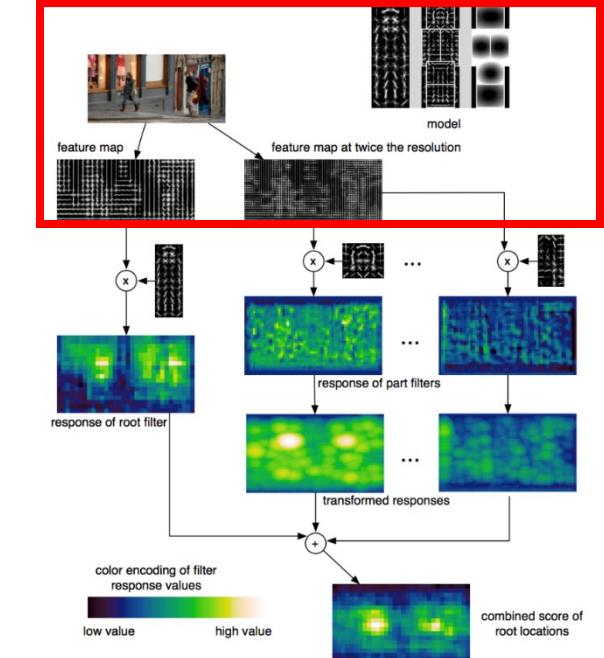
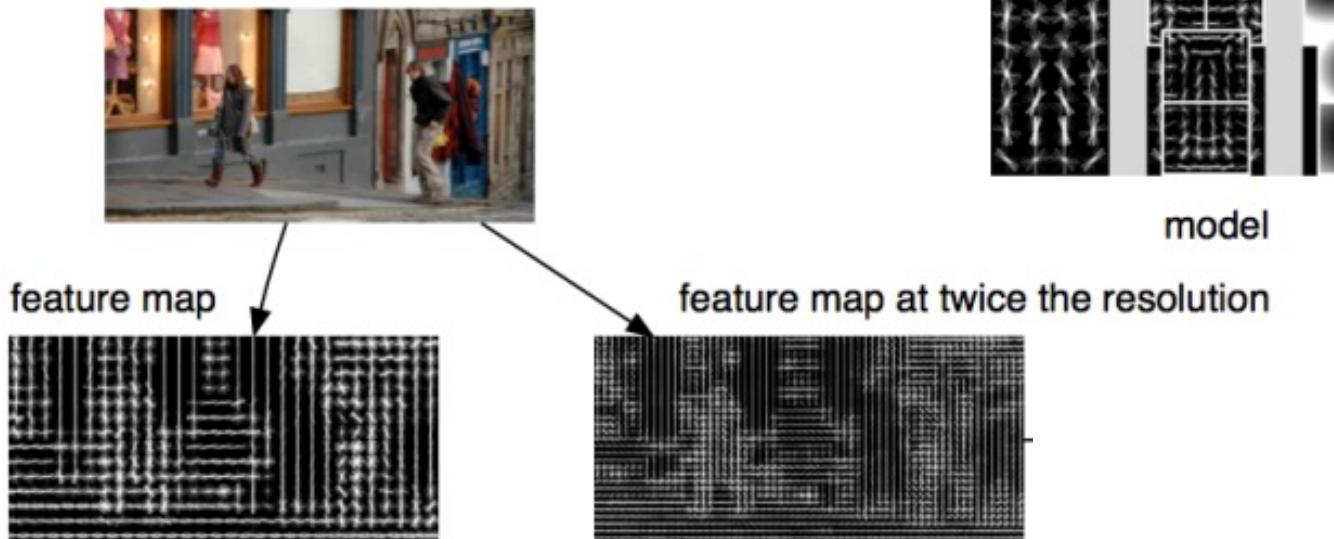
Общий пайплайн детектора

Разберем по
частям



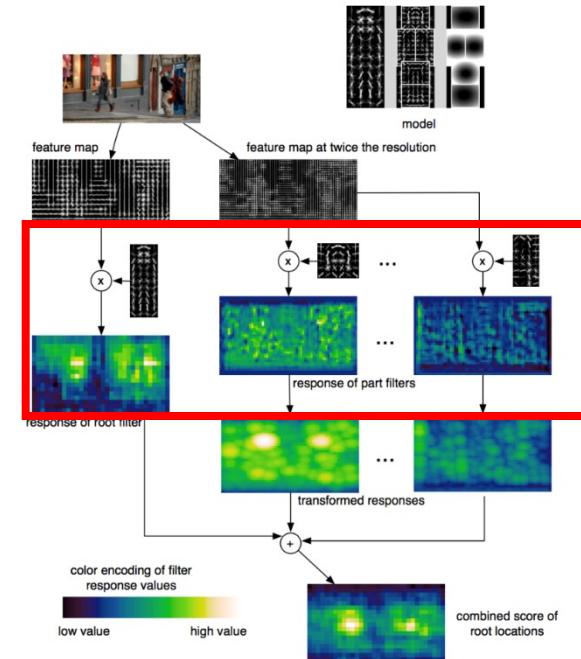
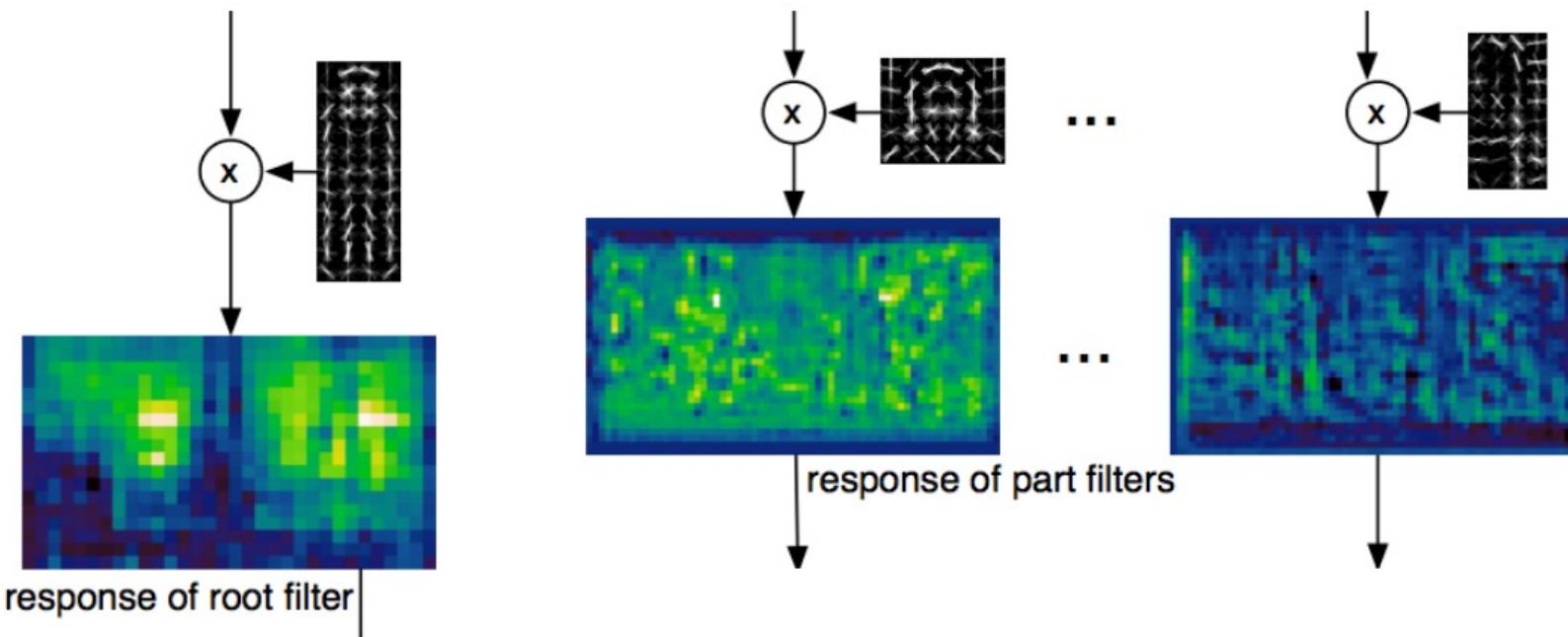
Detection pipeline

1. Убедитесь, что у вас есть фильтры (шаблоны) для глобальных и составных частей изображений (образов): F_i
2. Вычислить карты функций HOG из входного изображения

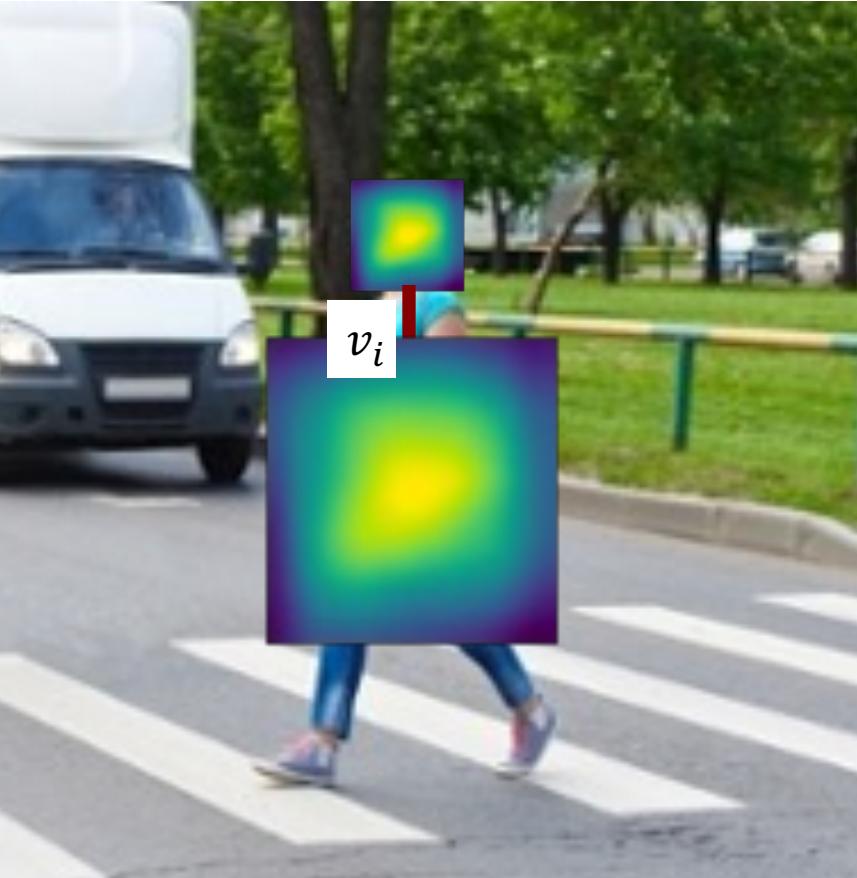


Detection pipeline

Применить фильтры



Учет пространственного расположения

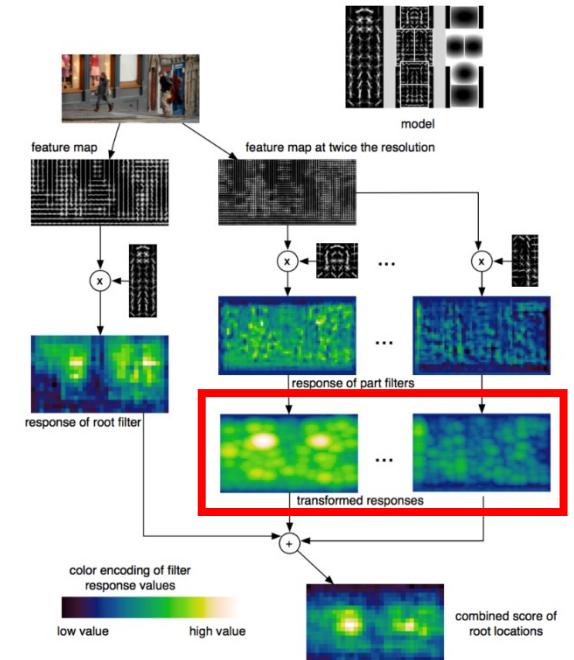
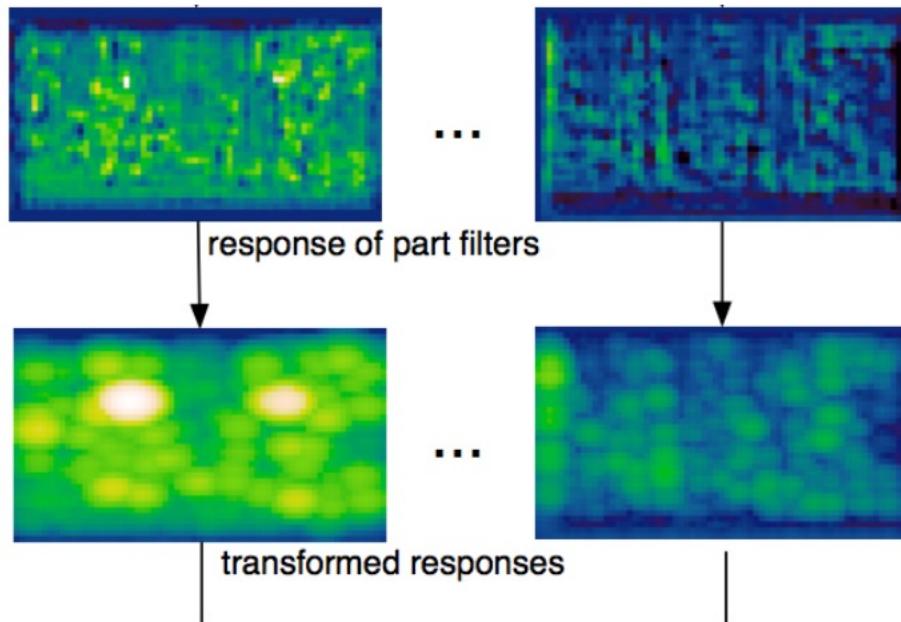


- Учитывая местоположение обнаруженной головы, мы можем угадать, где должно быть тело.
- Тело должно быть в направлении, вычисленном из фильтра корневых персон: v_i
- Но мы допускаем некоторую деформацию или пространственный сдвиг в расположении головы по отношению к телу: d_i
- Мы должны "распространить" обнаружение головы при вычислении потенциальных местоположений корня

Detection pipeline

Рассчитаем score для каждой части:

$$\text{detection score} = F_i \phi(p_i, H) - d_i(\Delta x_i, \Delta y_i, \Delta x_i^2, \Delta y_i^2)$$

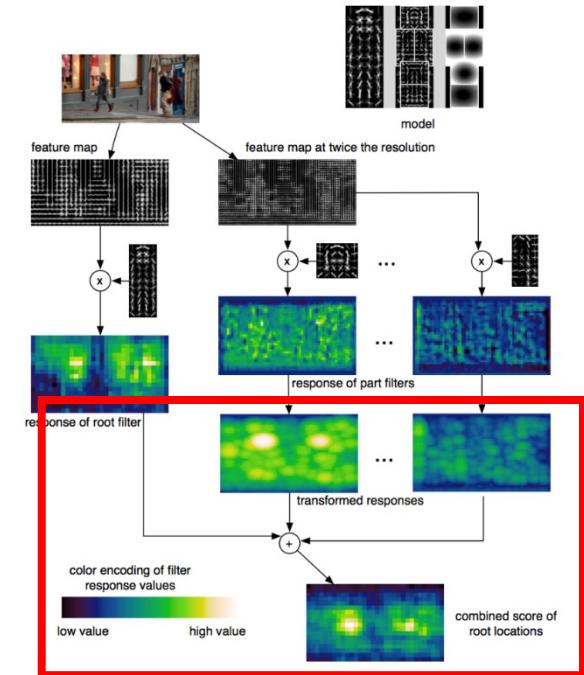
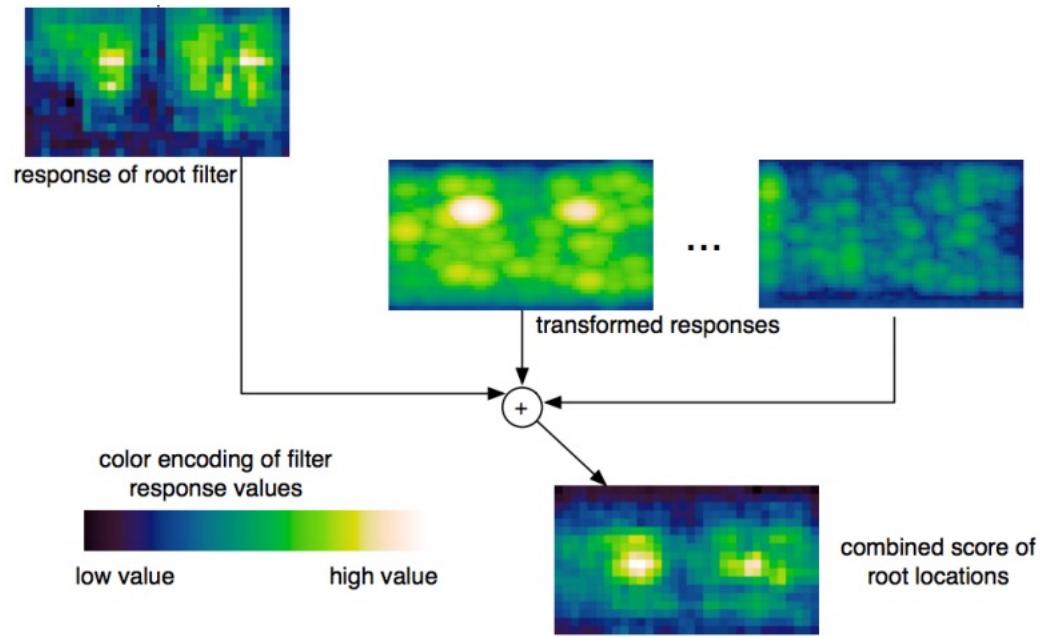


Detection pipeline

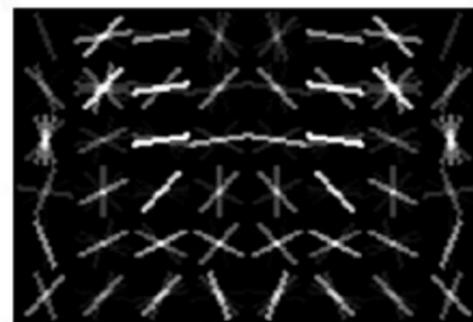
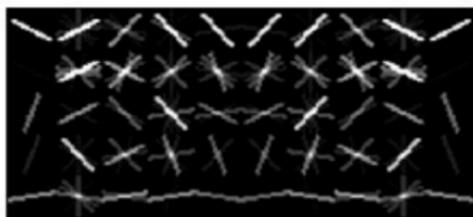
Теперь добавим результат от корня:

detection score

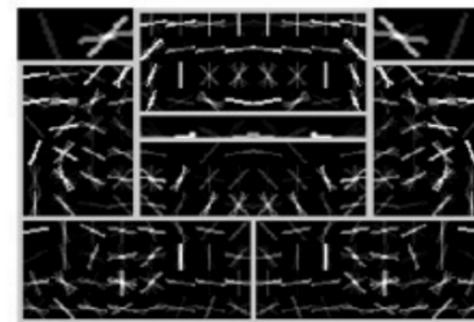
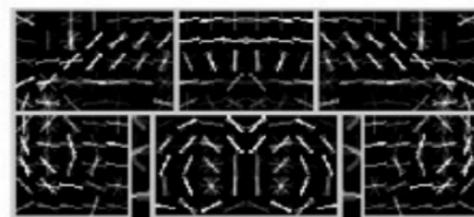
$$= F_0 + \sum_{i=1}^n F_i \phi(p_i, H) - \sum_{i=1}^n d_i(\Delta x_i, \Delta y_i, \Delta x_i^2, \Delta y_i^2)$$



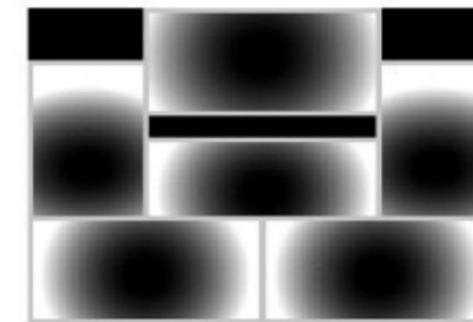
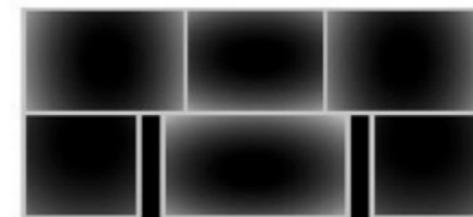
DPM - bicycle



root filters
coarse resolution

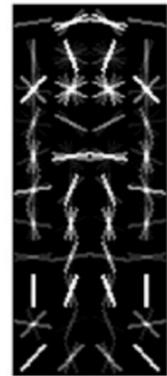


part filters
finer resolution

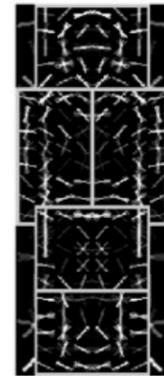
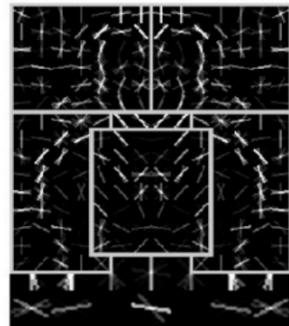


deformation
models

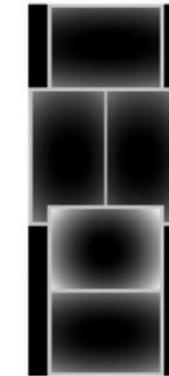
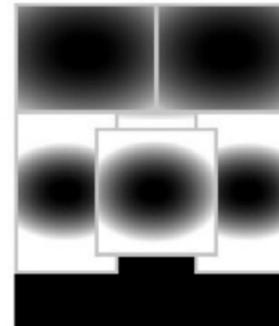
DPM - person



root filters
coarse resolution

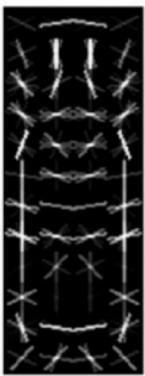
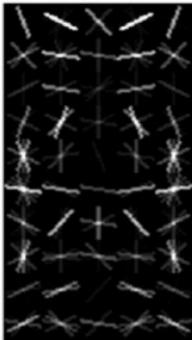


part filters
finer resolution

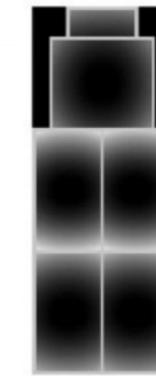
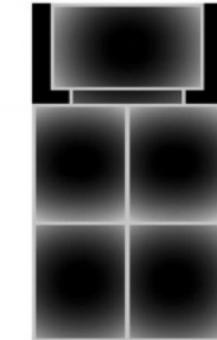
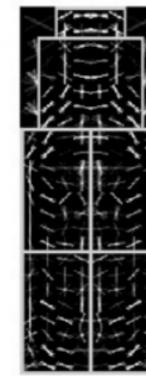
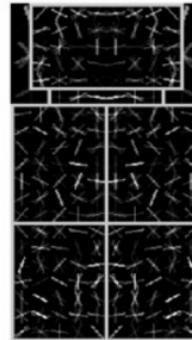


deformation
models

DPM - bottle



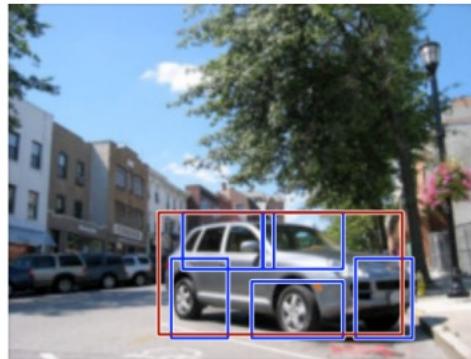
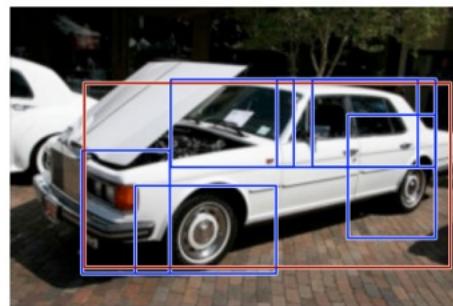
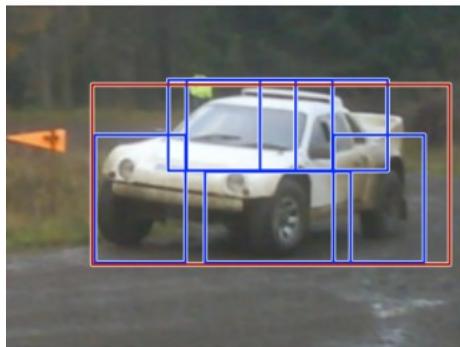
root filters
coarse resolution part filters
finer resolution



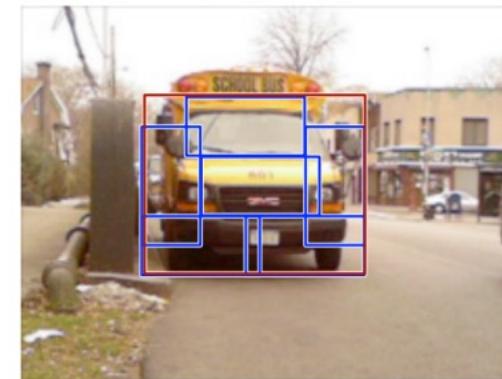
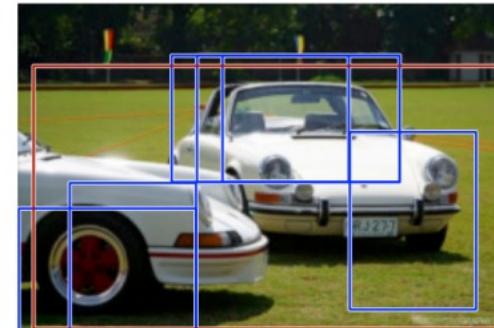
deformation
models

Results – Car

high scoring true positives

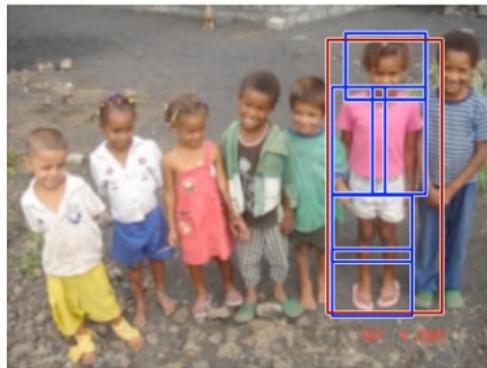
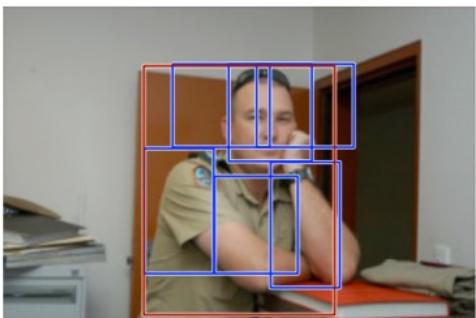
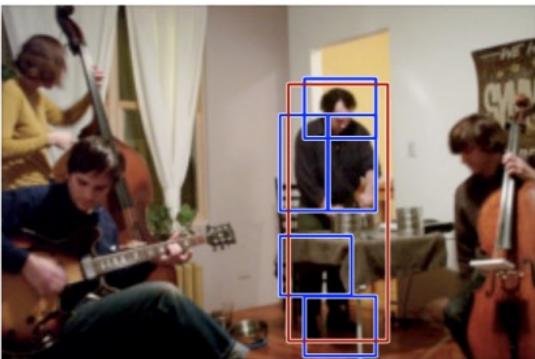


high scoring false positives

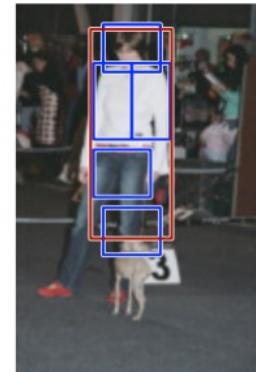


Results – Person

high scoring true positives

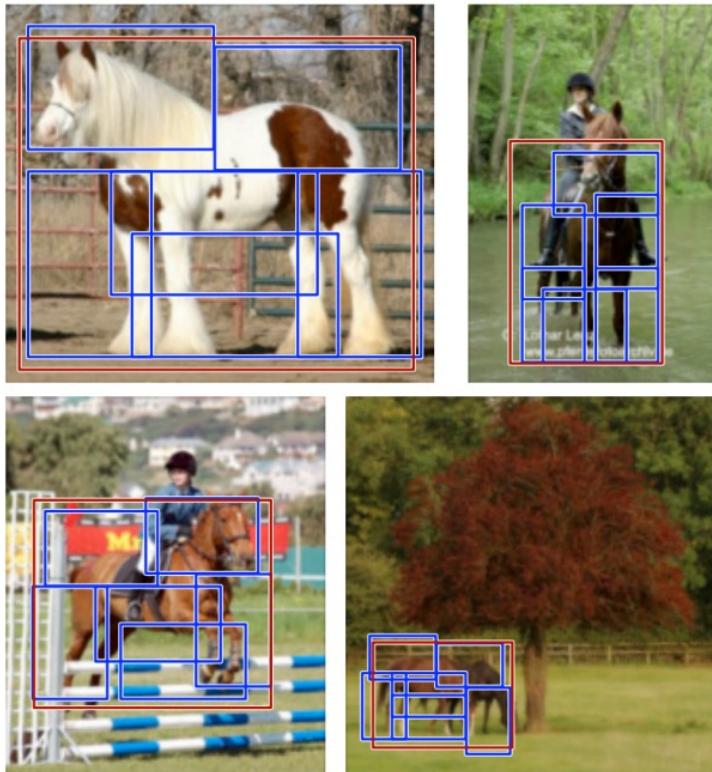


high scoring false positives
(not enough overlap)

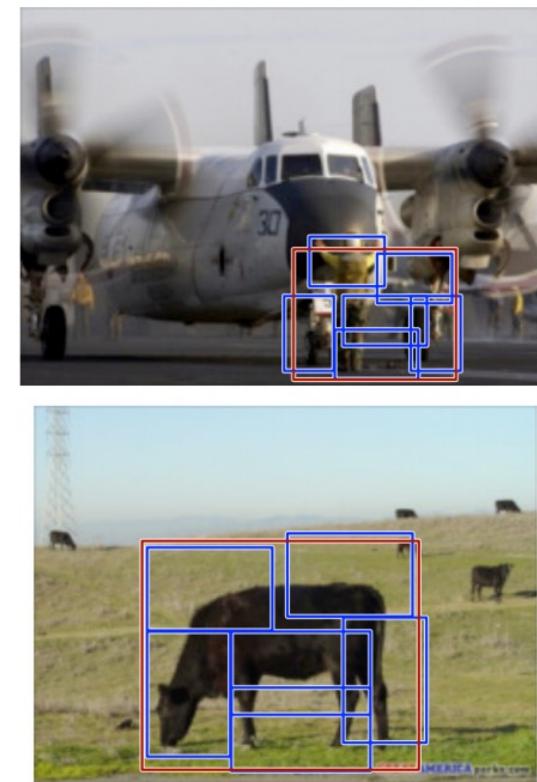


Results – Horse

high scoring true positives



high scoring false positives

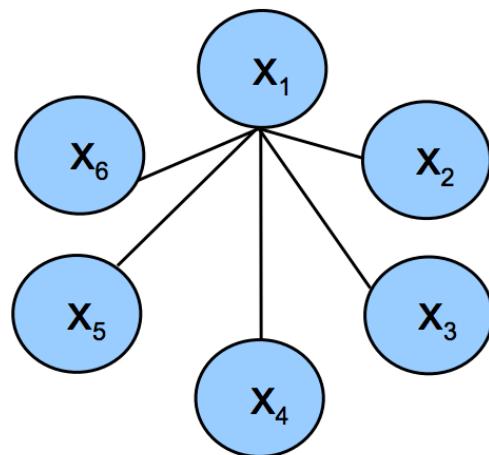


DPM

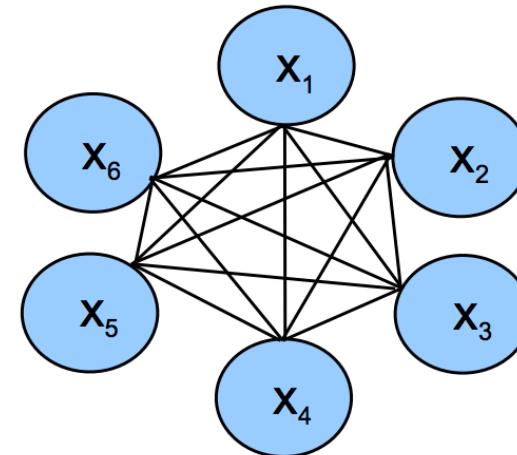
- Подход
 - Вручную подобранный набор деталей - Специальные детекторы, обученные для каждой детали
 - Пространственная модель, тренированная на частичных активациях
 - Оценка совместной вероятности частичной активации
- Преимущества
 - Детали имеют интуитивную интерпретацию
 - Для каждой детали могут быть использованы стандартные подходы к обнаружению
 - Хорошо работает для определенных категорий
- Недостатки
 - Детали должны быть выбраны вручную
 - Семантически детали иногда не имеют простого распределения по внешнему виду
 - Нет гарантии, что какая-то важная часть не была пропущена
 - При переходе в другую категорию модель необходимо перестраивать с нуля

Дополнительно

“Star” shape model



Fully connected shape model



- ▶ e.g. ISM (Implicit Shape Model)
- ▶ Parts mutually independent
- ▶ Recognition complexity: $O(NP)$
- ▶ Method: Generalized Hough Transform

- ▶ e.g. Constellation Model
- ▶ Parts fully connected
- ▶ Recognition complexity: $O(N^P)$
- ▶ Method: Exhaustive search

Заключение

- Object detection
 - Задача и постановка
- Простой детектор
- Модели на частичном распознавании (Deformable parts model)