

Aplikace neuronových sítí

Detekce a lokalizace objektů

Klasifikace vs lokalizace vs detekce

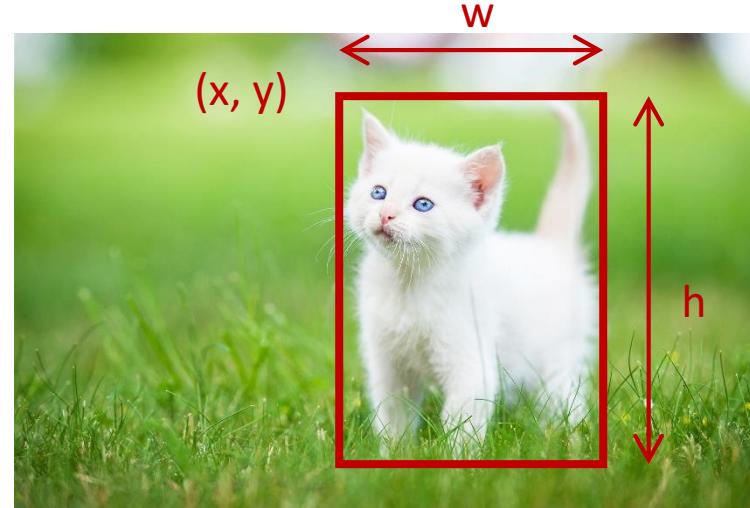
klasifikace



return 1

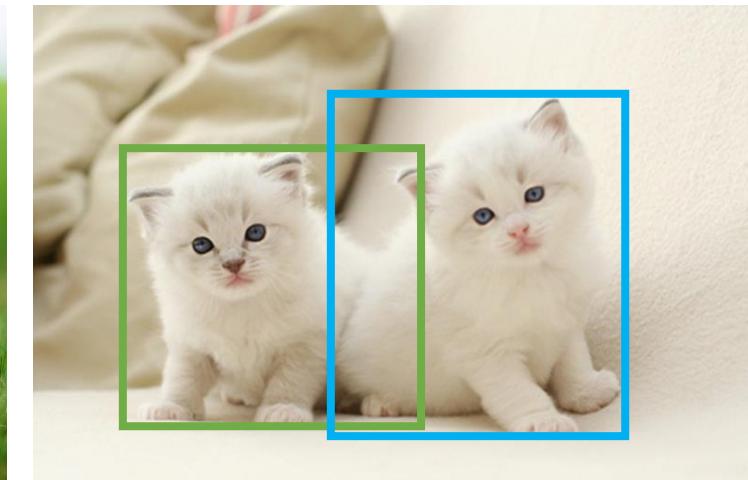
index třídy "kočka"

lokalizace



return $(1, x, y, w, h)$

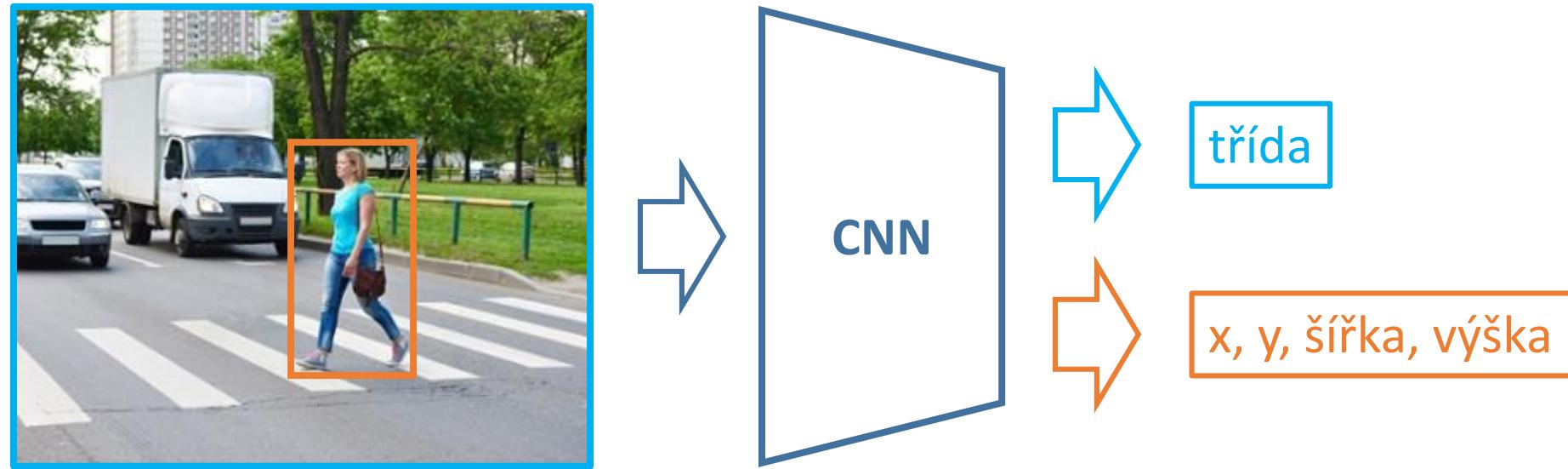
detekce



return [
 $(1, x_1, y_1, w_1, h_1),$
 $(1, x_2, y_2, w_2, h_2)$
]

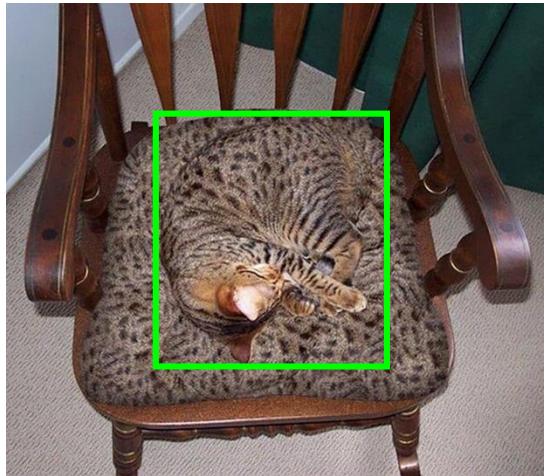
Lokalizace

kromě třídy bude síť zároveň predikovat pozici objektů ve formě obdélníků

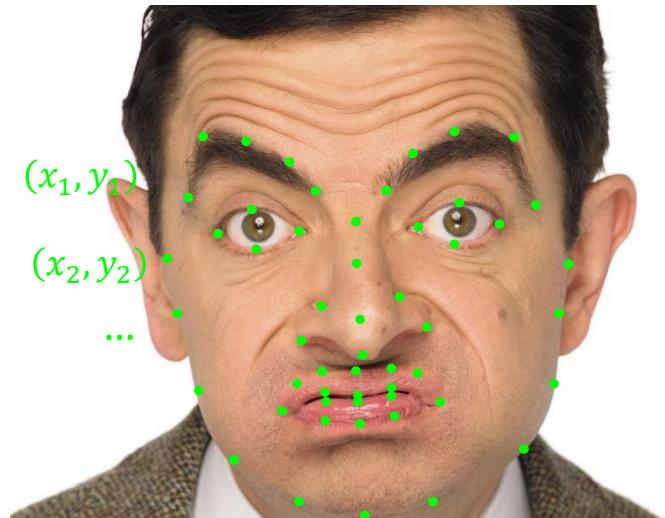


problém transformován na úlohu klasifikace + regrese

Další příklady lokalizace



$$\begin{bmatrix} x \\ y \\ w \\ h \end{bmatrix}$$

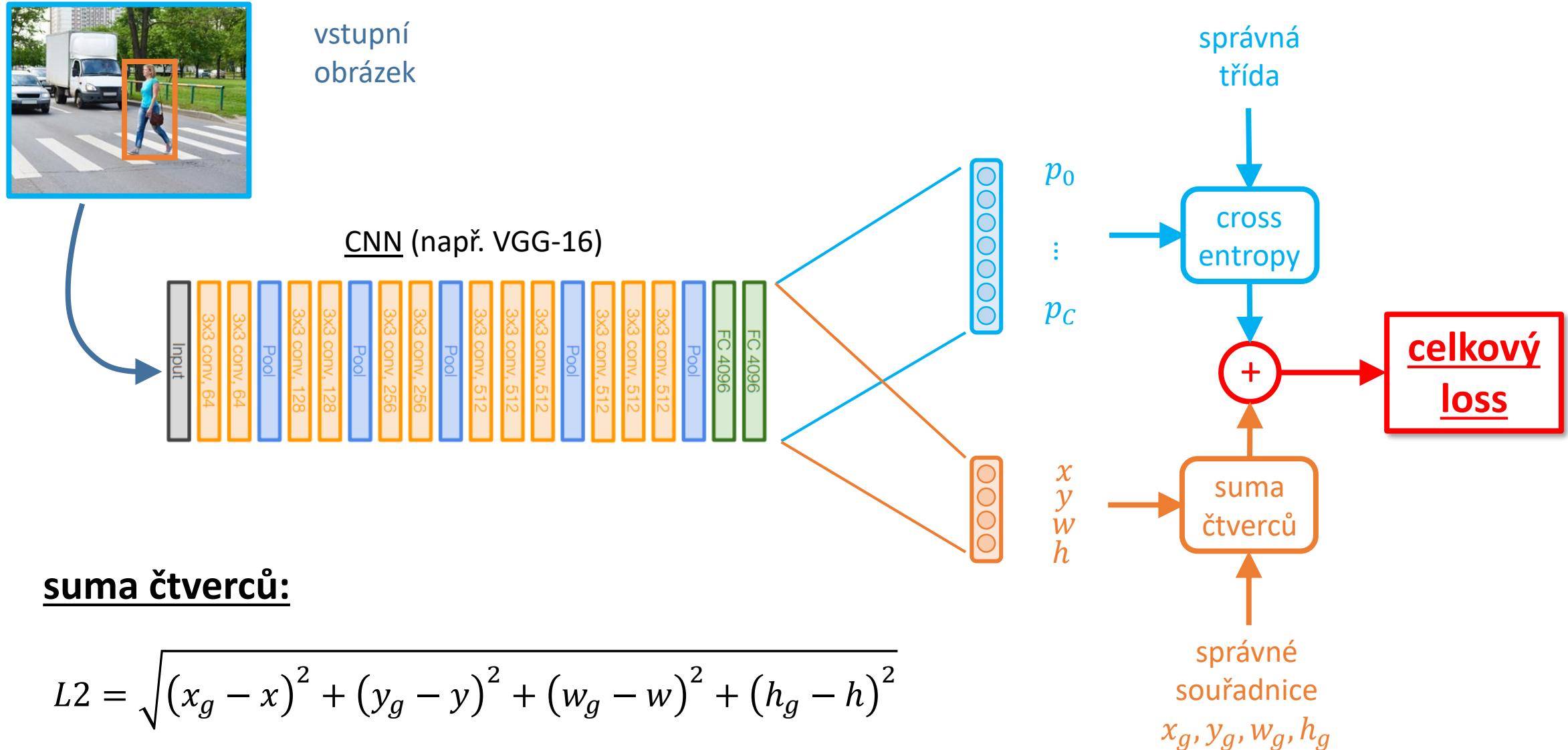


$$\begin{bmatrix} x_1 \\ y_1 \\ x_2 \\ y_2 \\ \vdots \\ x_{68} \\ y_{68} \end{bmatrix}$$



$$\begin{bmatrix} x_1 \\ y_1 \\ x_2 \\ y_2 \\ \vdots \\ x_{14} \\ y_{14} \end{bmatrix}$$

Lokalizace: trénování



Trénovací obrázky bez objektů

- Celkový loss tedy je

$$L = \underbrace{\log\left(\frac{\exp(s_y)}{\sum_{c=0}^C \exp(s_c)}\right)}_{\text{softmax cross entropy}} + \alpha \|\mathbf{b} - \mathbf{g}\|_2$$

L2 suma čtverců

často se používá tzv. Smooth L1

$$L1^s(x) = \begin{cases} 0.5x^2 & |x| < 1 \\ |x| - 0.5 & \text{jinak} \end{cases}$$

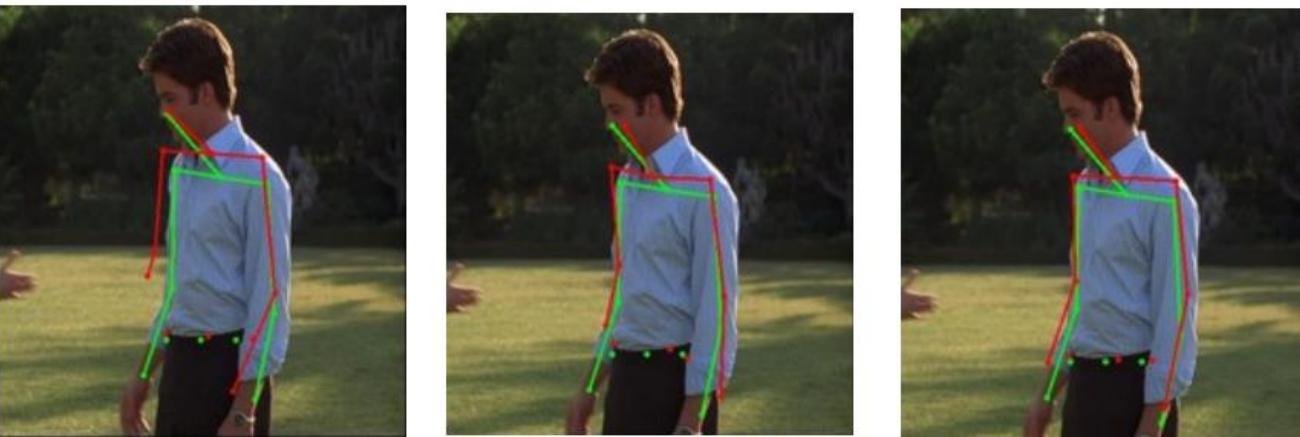
kde y je správná třída, $\mathbf{b} = [x, y, w, h]$ je predikovaný box a $\mathbf{g} = [x_g, y_g, w_g, h_g]$

- Pokud na trénovacím obrázku není žádný objekt, třída $y = 0$ ("pozadí" může mít libovlný index) a L2 člen můžeme ignorovat, např. tak, že $\alpha = 0$

DeepPose



Figure 2. Left: schematic view of the DNN-based pose regression. We visualize the network layers with their corresponding dimensions, where convolutional layers are in blue, while fully connected ones are in green. We do not show the parameter free layers. Right: at stage s , a refining regressor is applied on a sub image to refine a prediction from the previous stage.

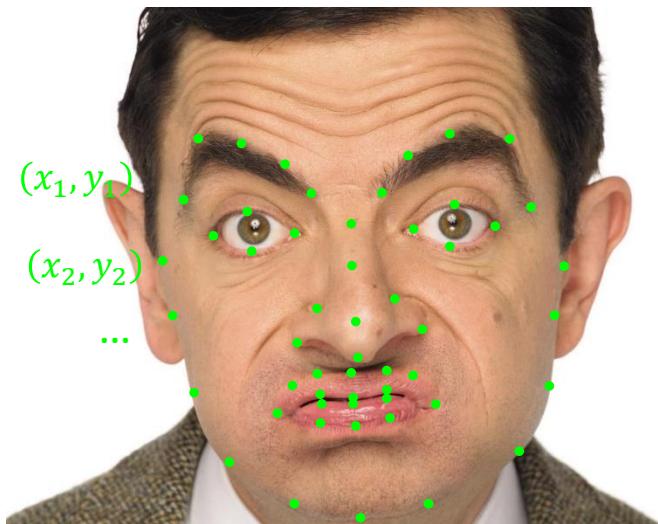


více fází, kdy se predikce pozic kloubů postupně upřesňují

Detekce objektů

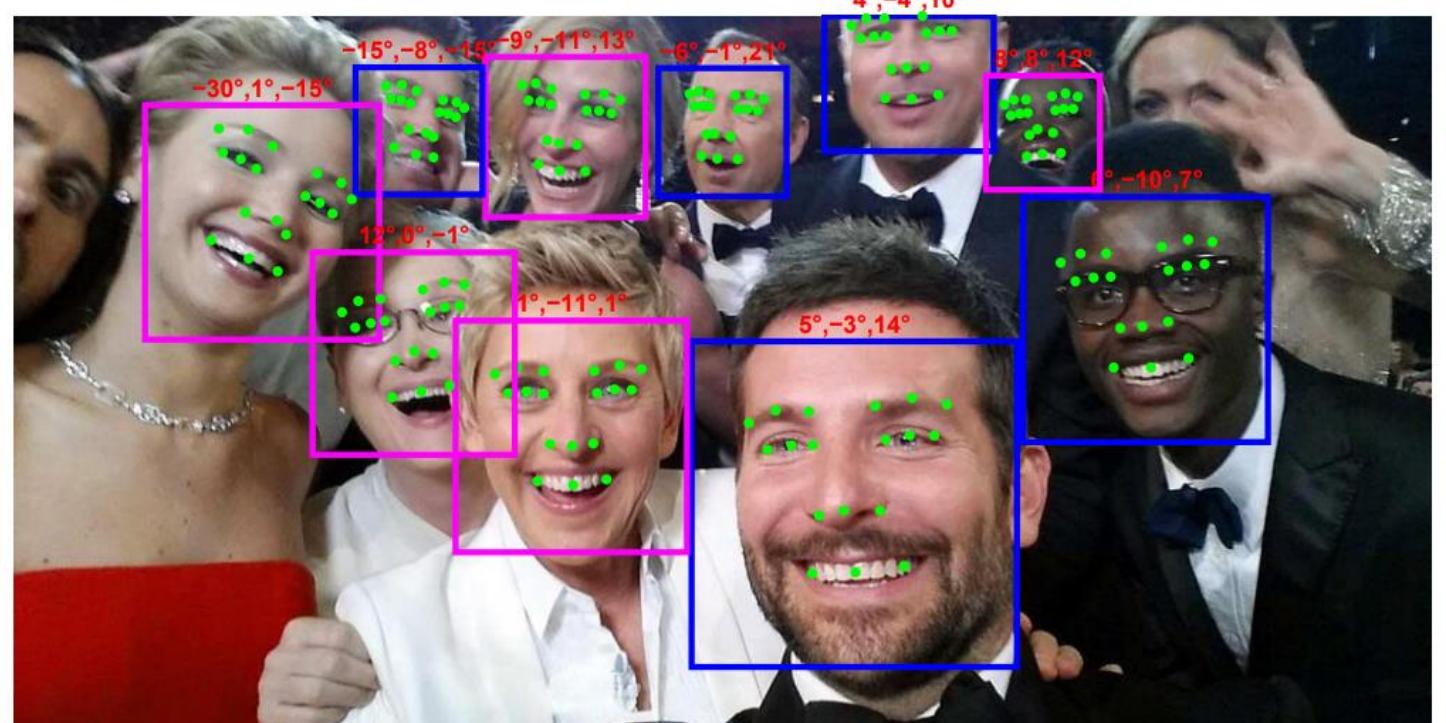
Detekce jako lokalizace (regrese)?

lokalizace



počet objektů / predikovaných veličin
je konstantní

detekce

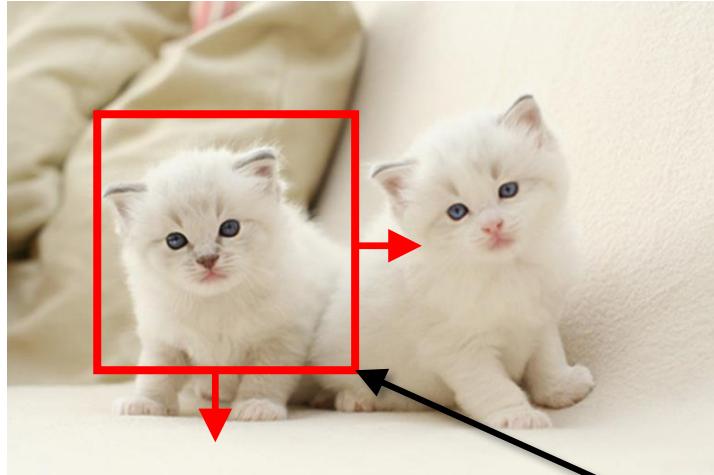


počet objektů / predikovaných veličin
je variabilní

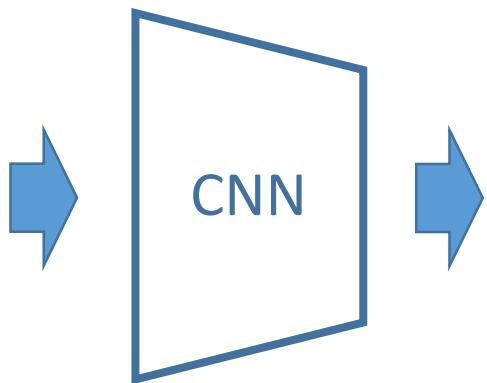
[Ranjan et al.: HyperFace: A Deep Multi-task Learning Framework for Face Detection, Landmark Localization, Pose Estimation, and Gender Recognition](#)

Posuvné okénko

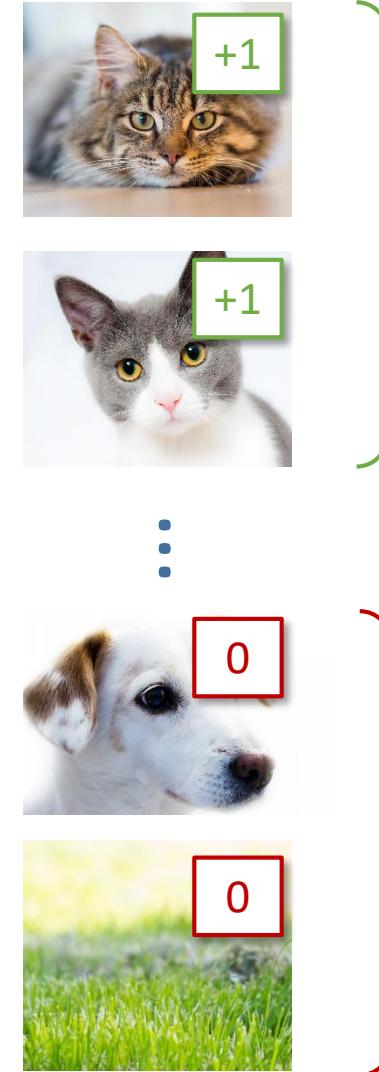
příklad: detektor koček



v každém kroku se vyřízne
okénko a klasifikuje



+1 = kočka!



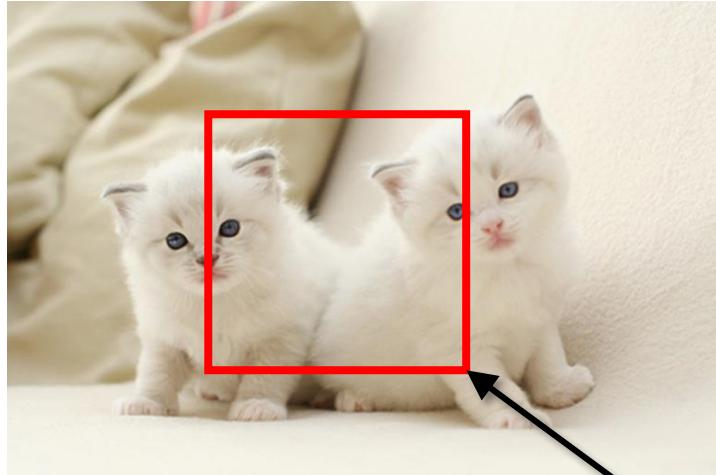
trénovací data

kladné
příklady

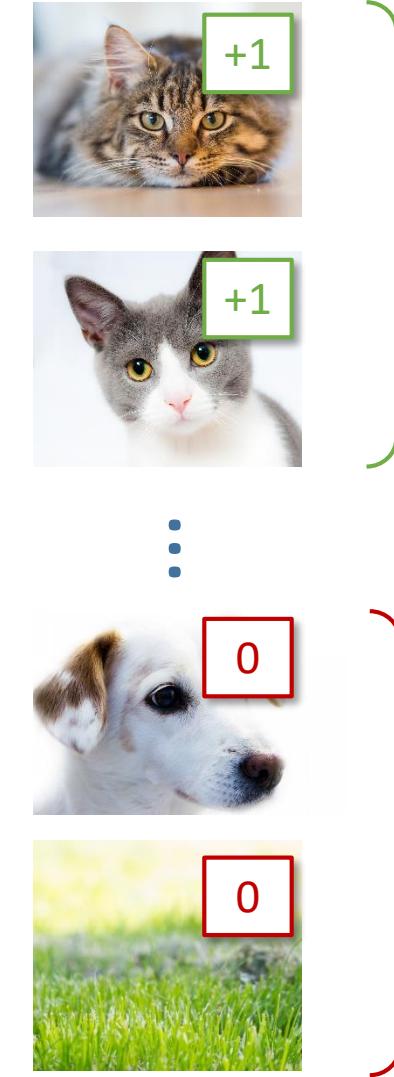
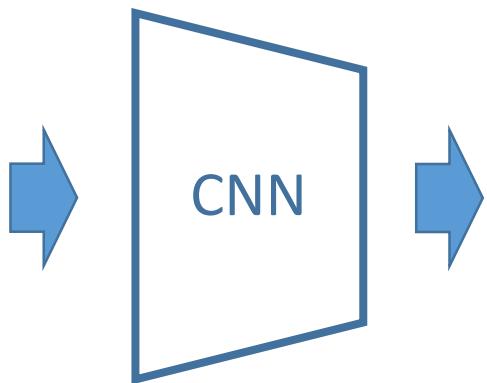
příklady
"nekoček"
(pozadí)

Posuvné okénko

příklad: detektor koček



v každém kroku se vyřízne
okénko a klasifikuje



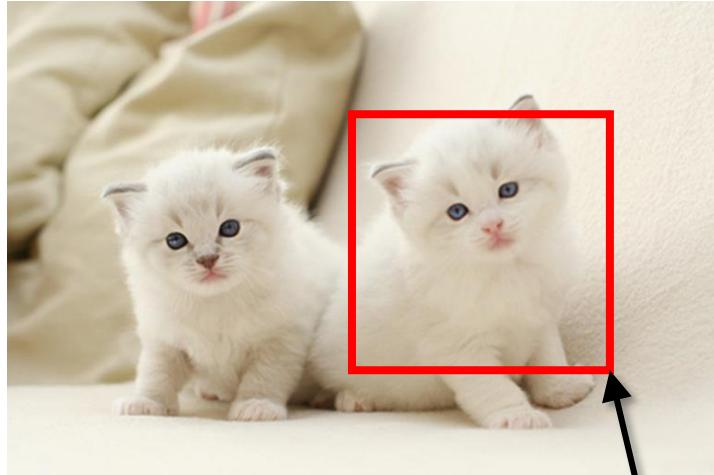
trénovací data

kladné
příklady

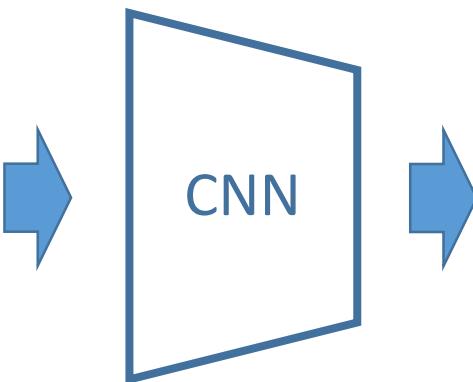
příklady
„nekoček“
(pozadí)

Posuvné okénko

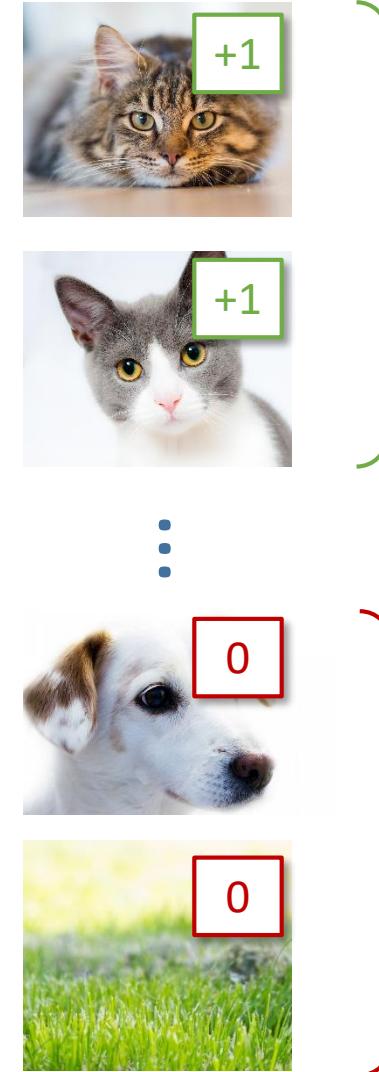
příklad: detektor koček



v každém kroku se vyřízne
okénko a klasifikuje

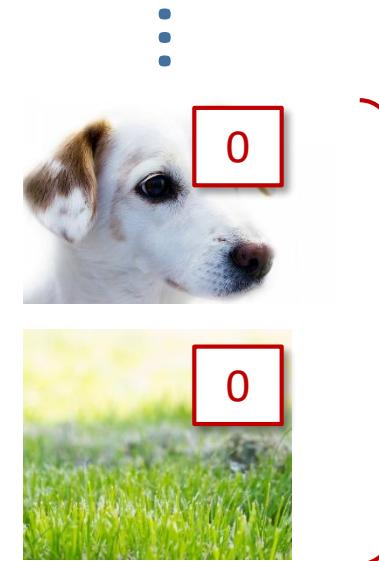


+1 = kočka!



trénovací data

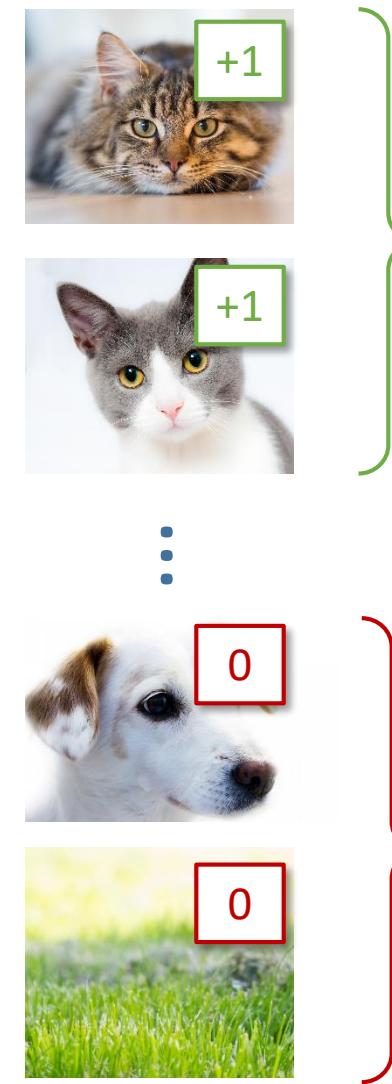
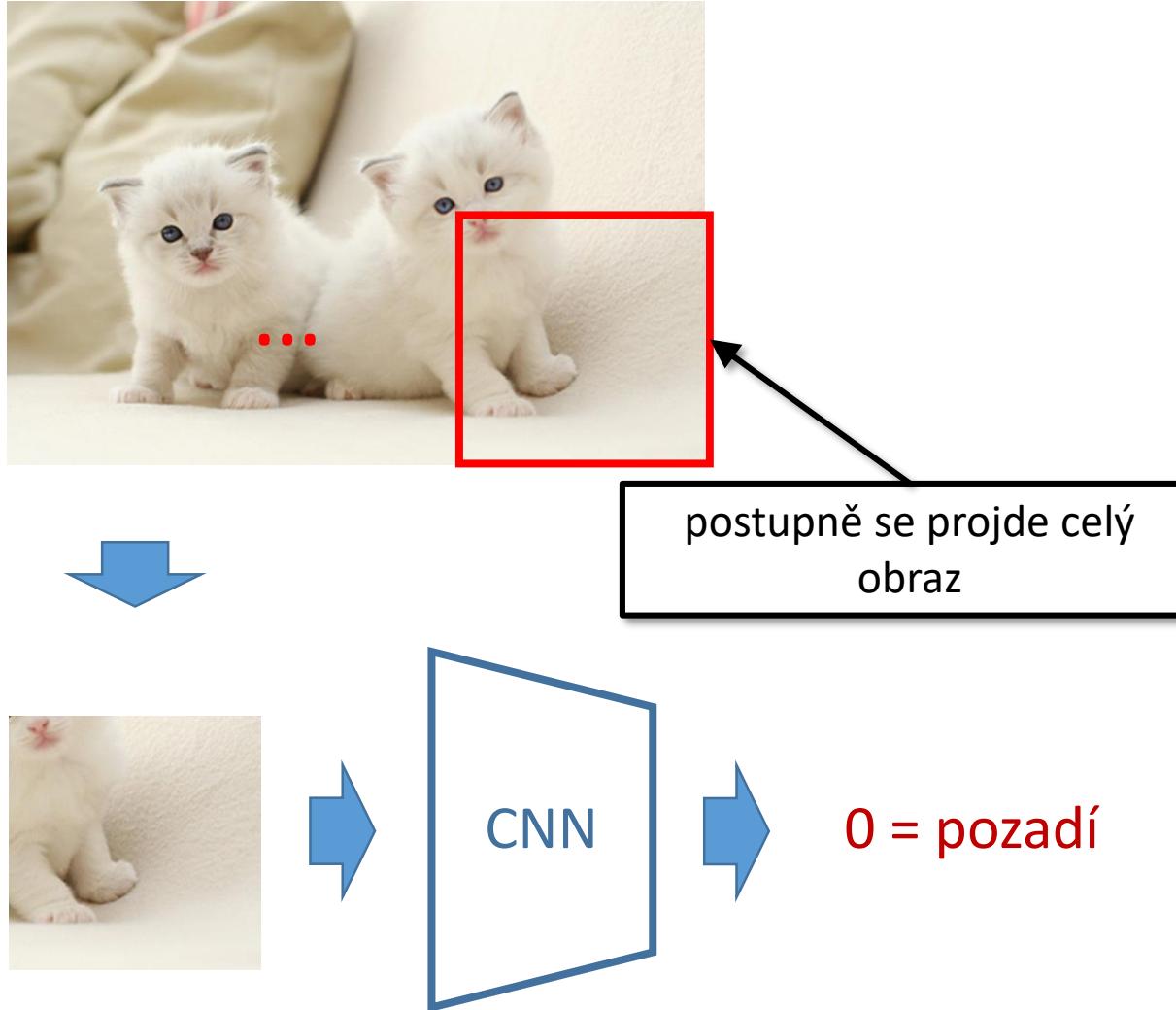
kladné
příklady



příklady
"nekoček"
(pozadí)

Posuvné okénko

příklad: detektor koček



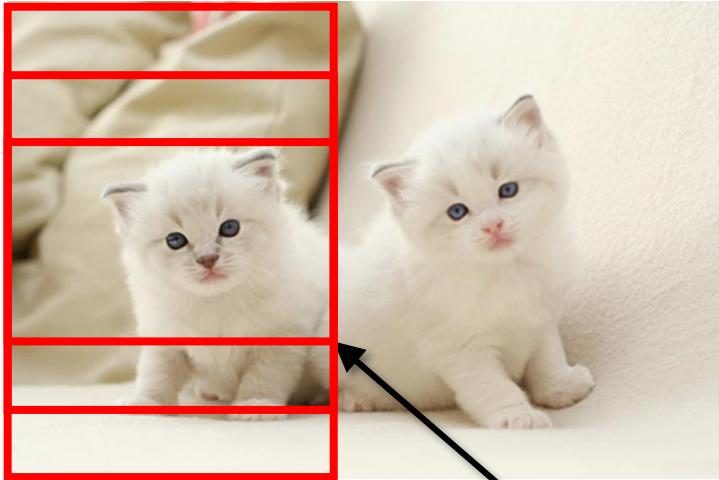
trénovací data

kladné
příklady

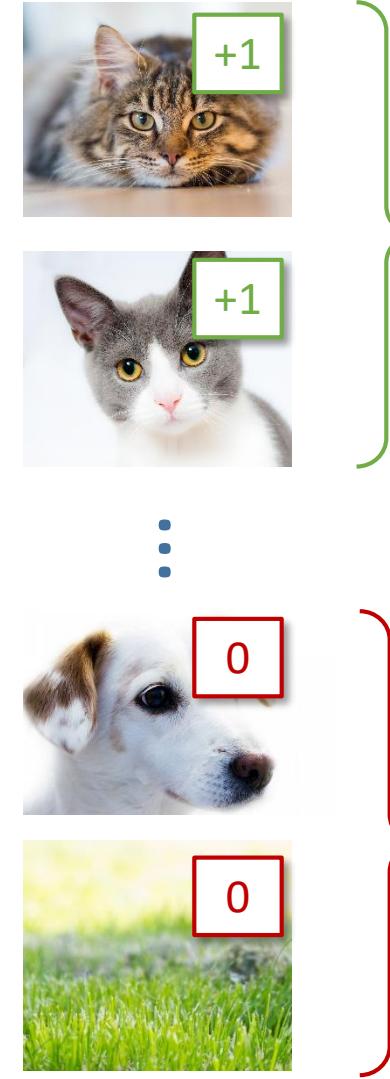
příklady
"nekoček"
(pozadí)

Posuvné okénko

příklad: detektor koček



poté to samé pro větší
okénko, abychom
mohli detektovat různě
velké objekty



trénovací data

kladné
příklady

příklady
“nekoček”
(pozadí)

Posuvné okénko

příklad: detektor koček

Pomalé 😞



trénovací data

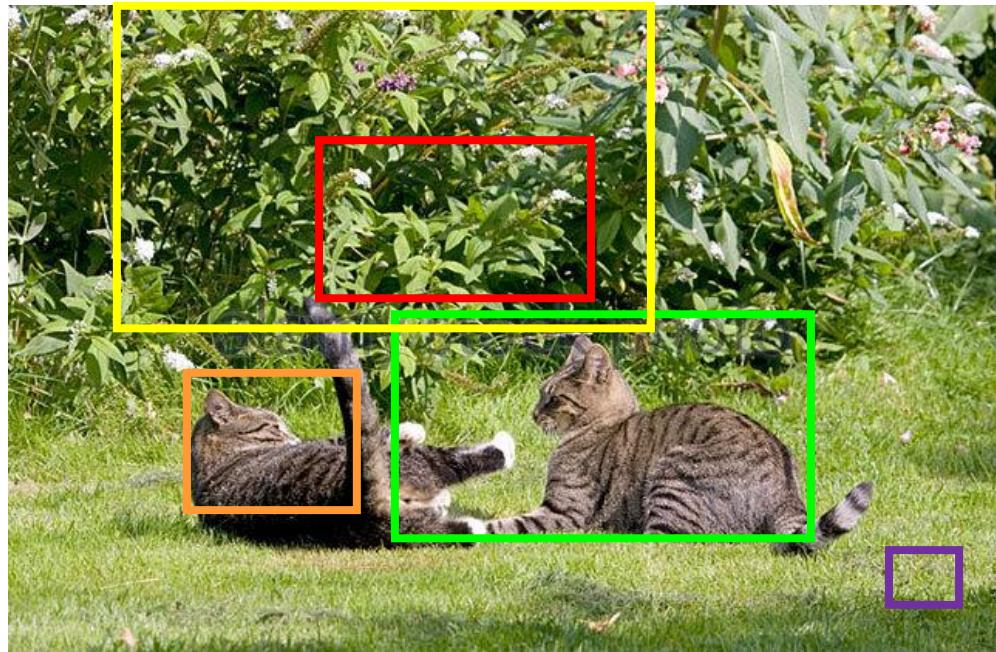
kladné
příklady

příklady
"nekoček"
(pozadí)

R-CNN

Region proposal

vstupní obrázek



segmentace obrázku



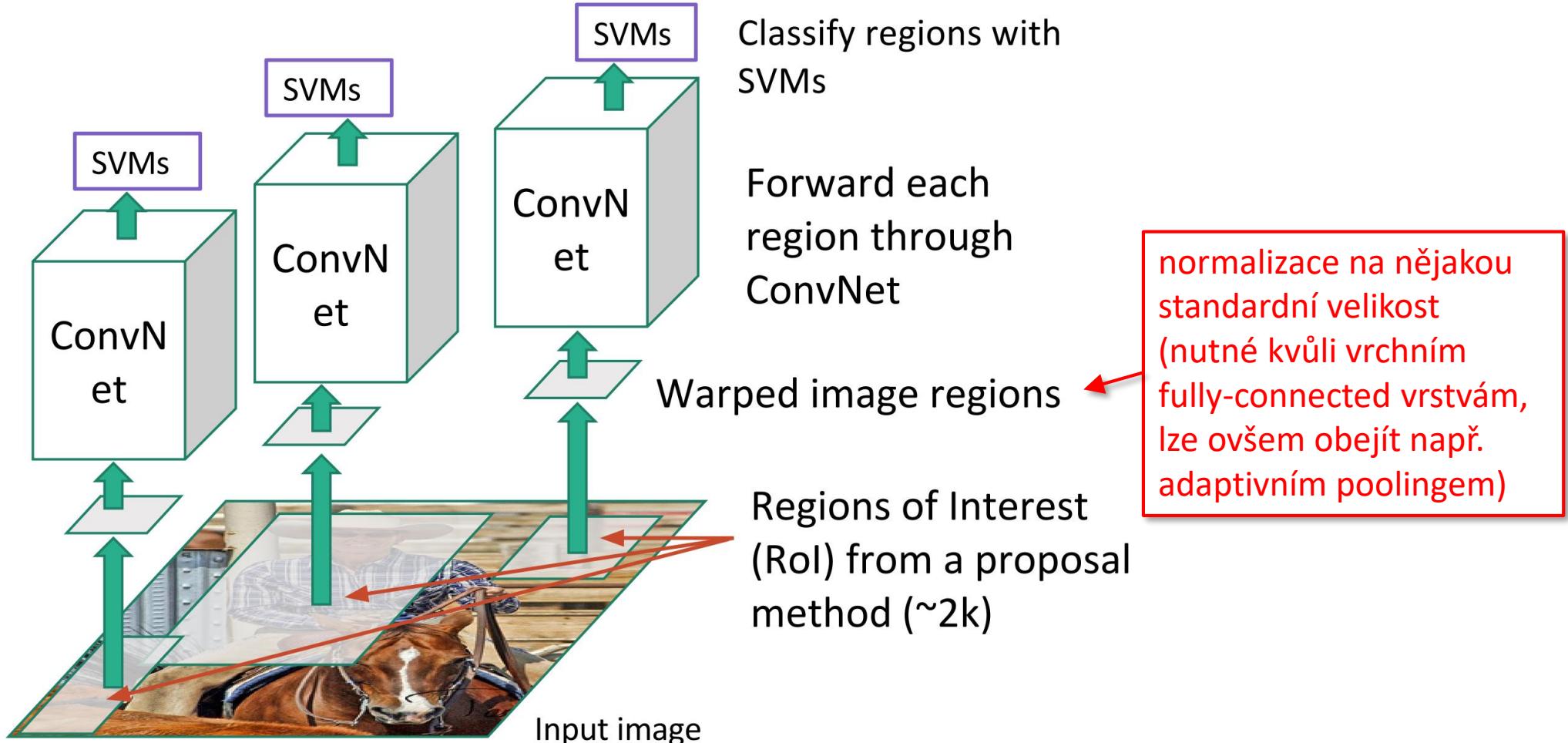
zde příklad selective search

místo exhaustivního procházení obrázku se vyhodnotí **jen vybrané výřezy (tzv. region proposals)** → tzv. Region-based Convolutional Neural Networks (R-CNN)

[Girshick et al: Rich feature hierarchies for accurate object detection and semantic segmentation](#)

R-CNN

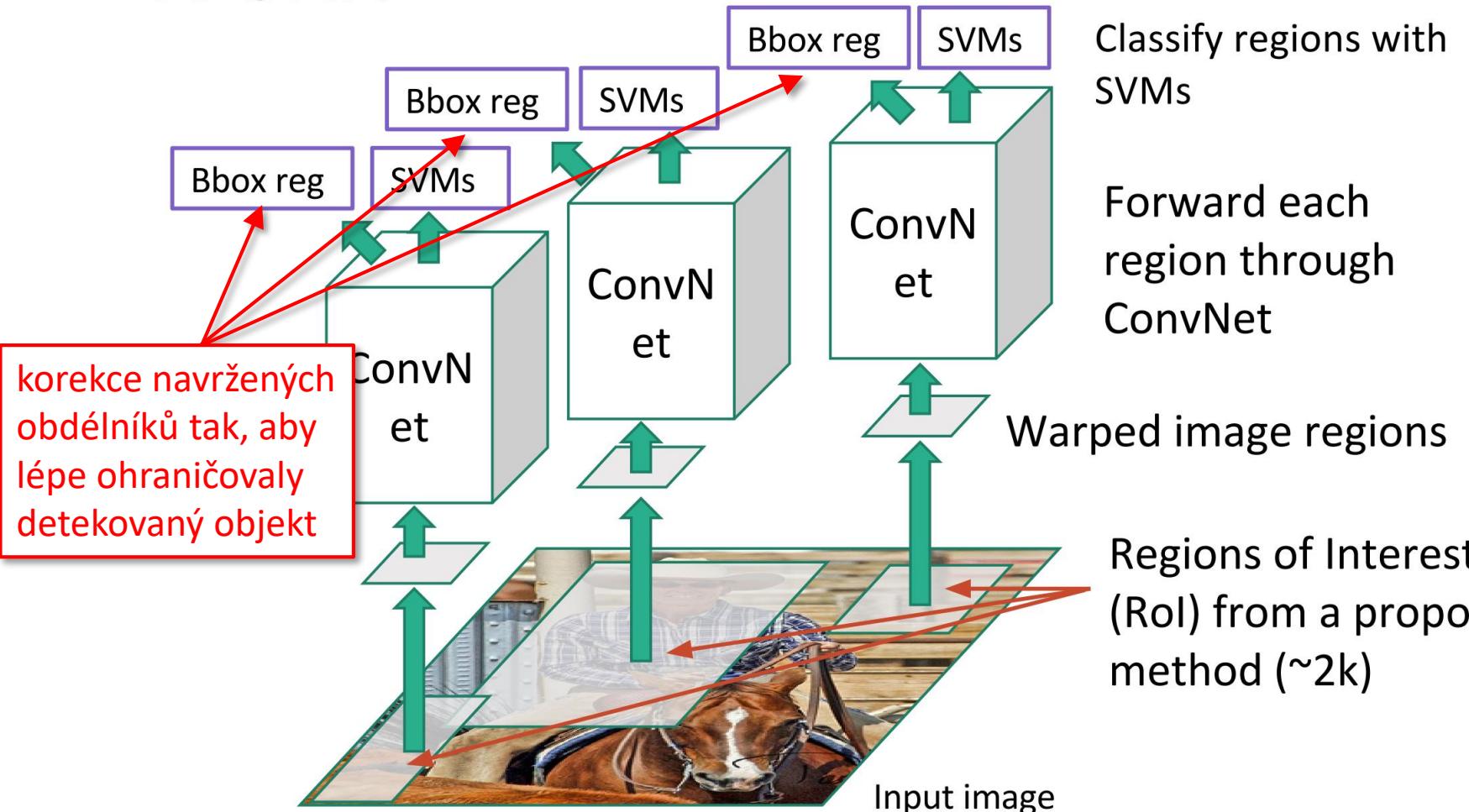
R-CNN



obrázek: <https://dl.dropboxusercontent.com/s/vlyrkgd8nz8gy5l/fast-rcnn.pdf?dl=0>

R-CNN

R-CNN

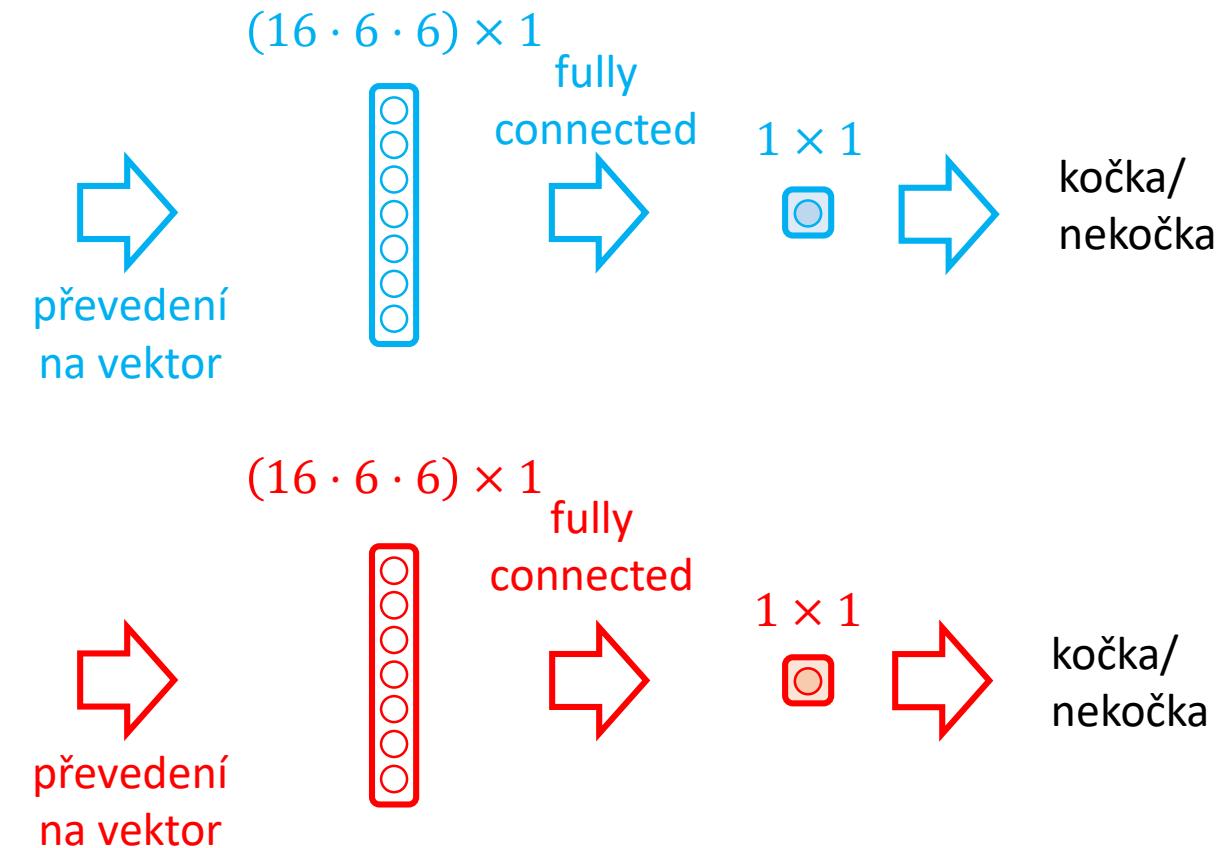
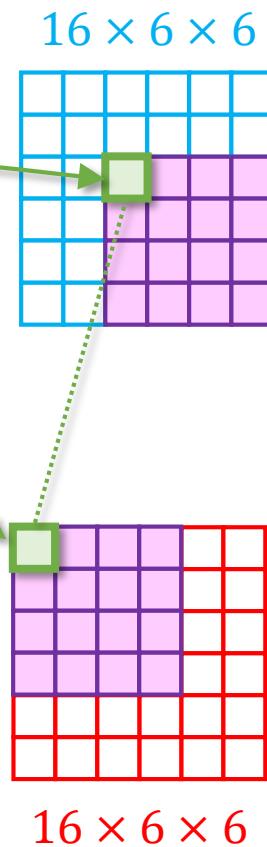
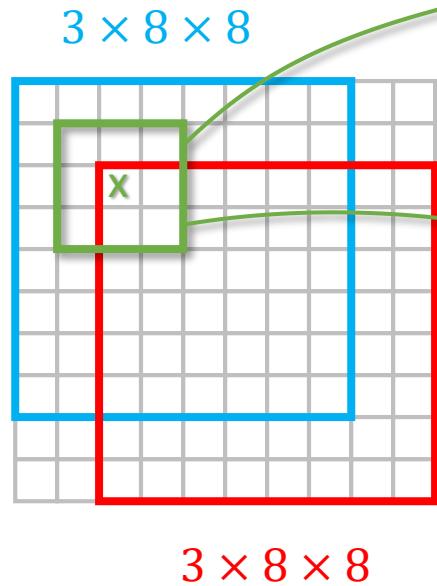


obrázek: <https://dl.dropboxusercontent.com/s/vlyrkgd8nz8gy5l/fast-rcnn.pdf?dl=0>

Posuvné okno jako konvoluce

dva regiony v $3 \times 10 \times 10$

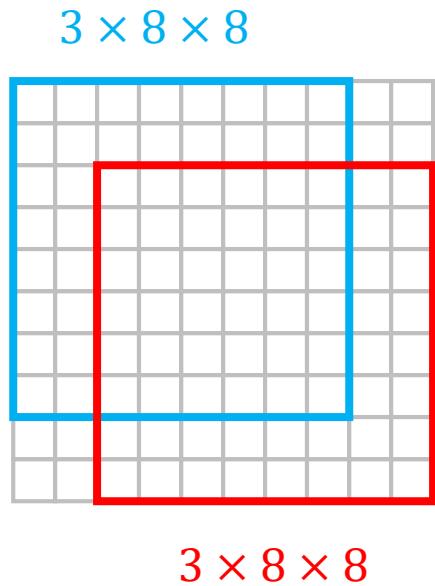
obrázku: modrý a červený



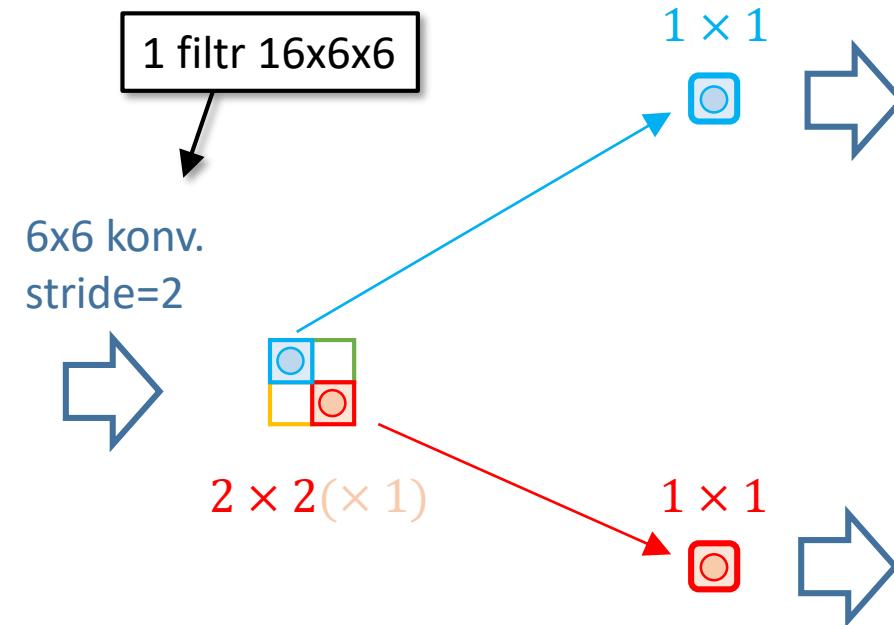
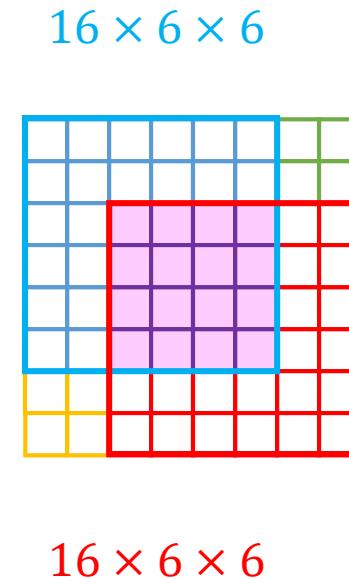
- dva samostatné a oddělené průchody modrým a červeným regionem
- ve fialové oblasti jsou výpočty shodné pro modré i červené okno
- pokud jsou průchody nezávislé, zbytečně se opakují

Posuvné okno jako konvoluce

dva regiony v $3 \times 10 \times 10$ obrázku: modrý a červený



3×3 konv.
→



kočka/
nekočka

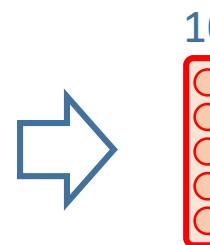
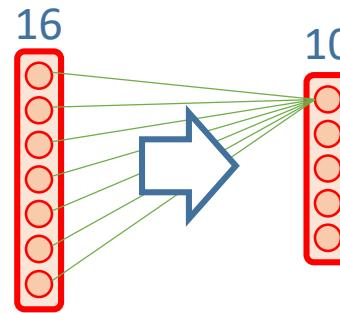
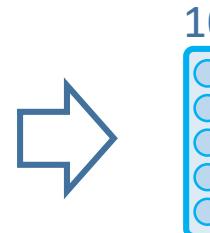
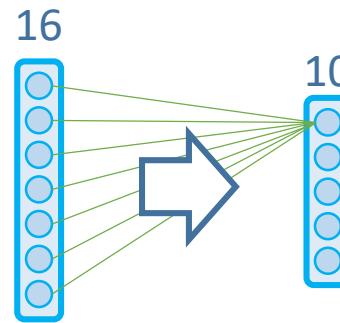
kočka/
nekočka

- dopřednou (fully connected) vrstvu jsme nahradili konvolucí
- stačí tedy, aby celý obrázek prošel sítí pouze jednou → jedna velká konvoluce
- tím i výpočty ve fialové oblasti budou provedeny pouze jednou!

Fully connected jako 1x1 konvoluce

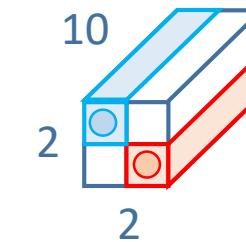
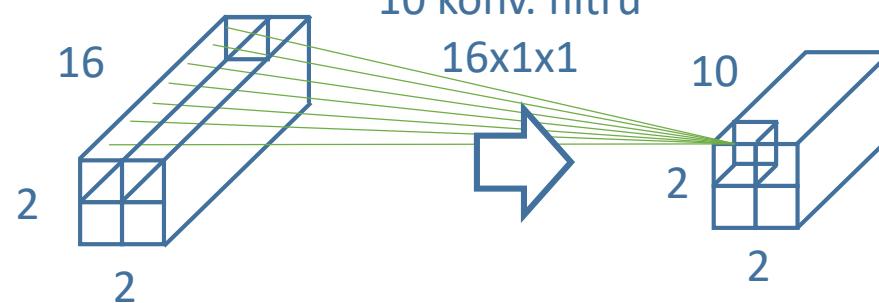
samosatné průchody

(multi-layer perceptron)



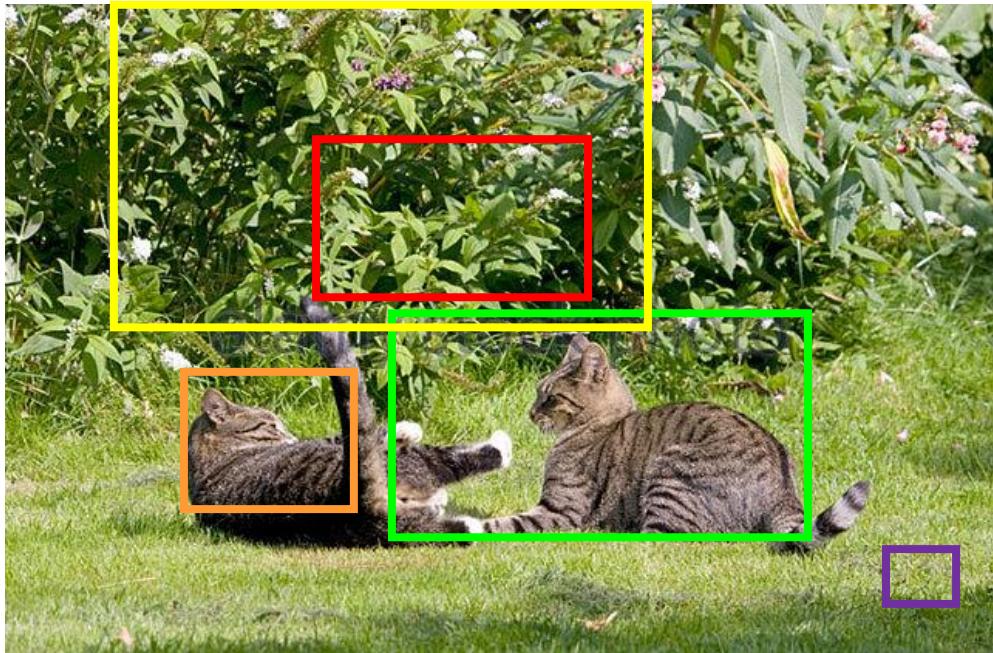
oba průchody ekvivalentní,
počítají to samé

jako konvolute



Fast R-CNN

vstupní obrázek



segmentace obrázku

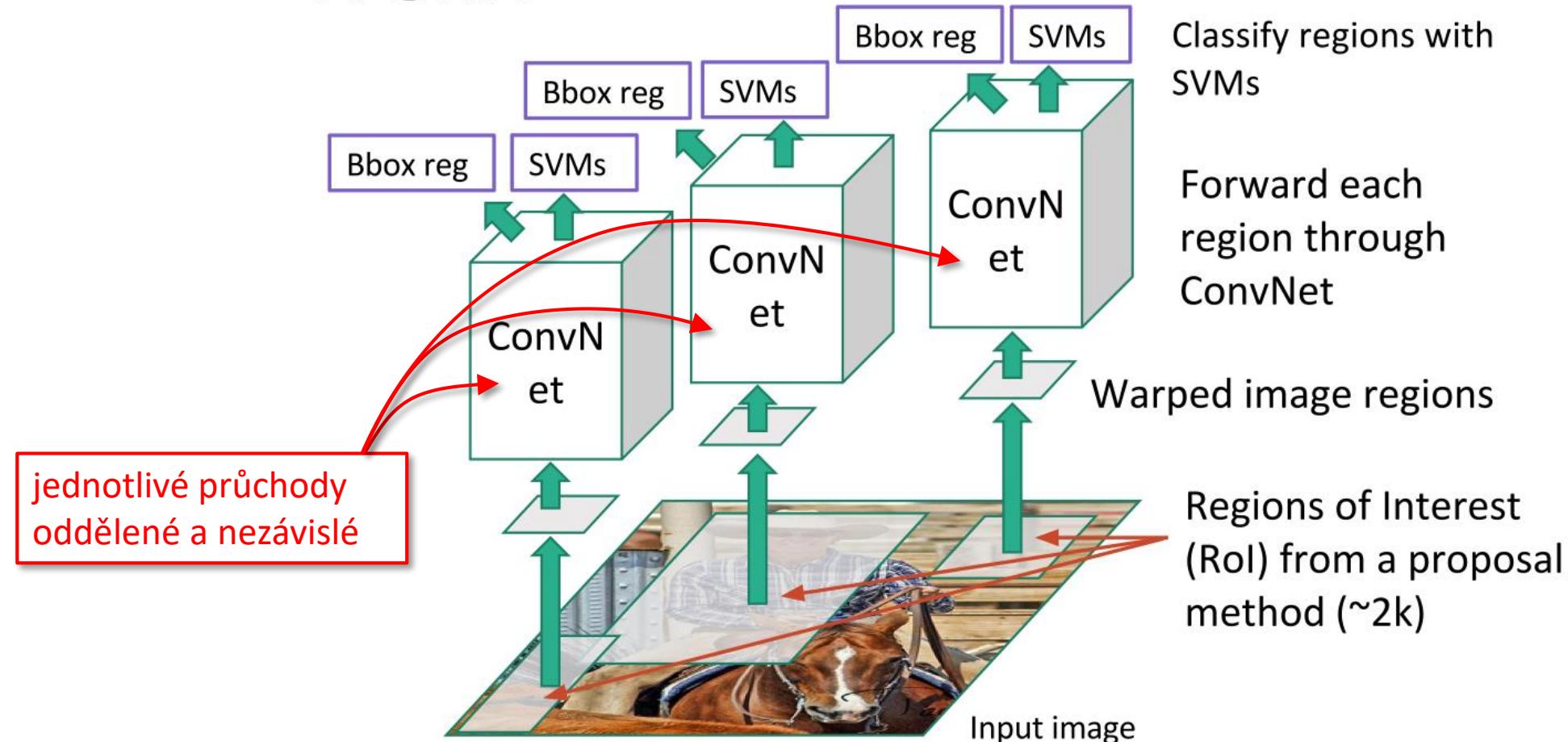


zde příklad selective search

- konvoluce se tedy provede jen jedna přes celý obrázek
- souřadnice vstupních obdélníků se přepočtou do výsledné konvoluční mapy
- klasifikace každé oblasti je pak samostatný průchod

R-CNN vs Fast R-CNN

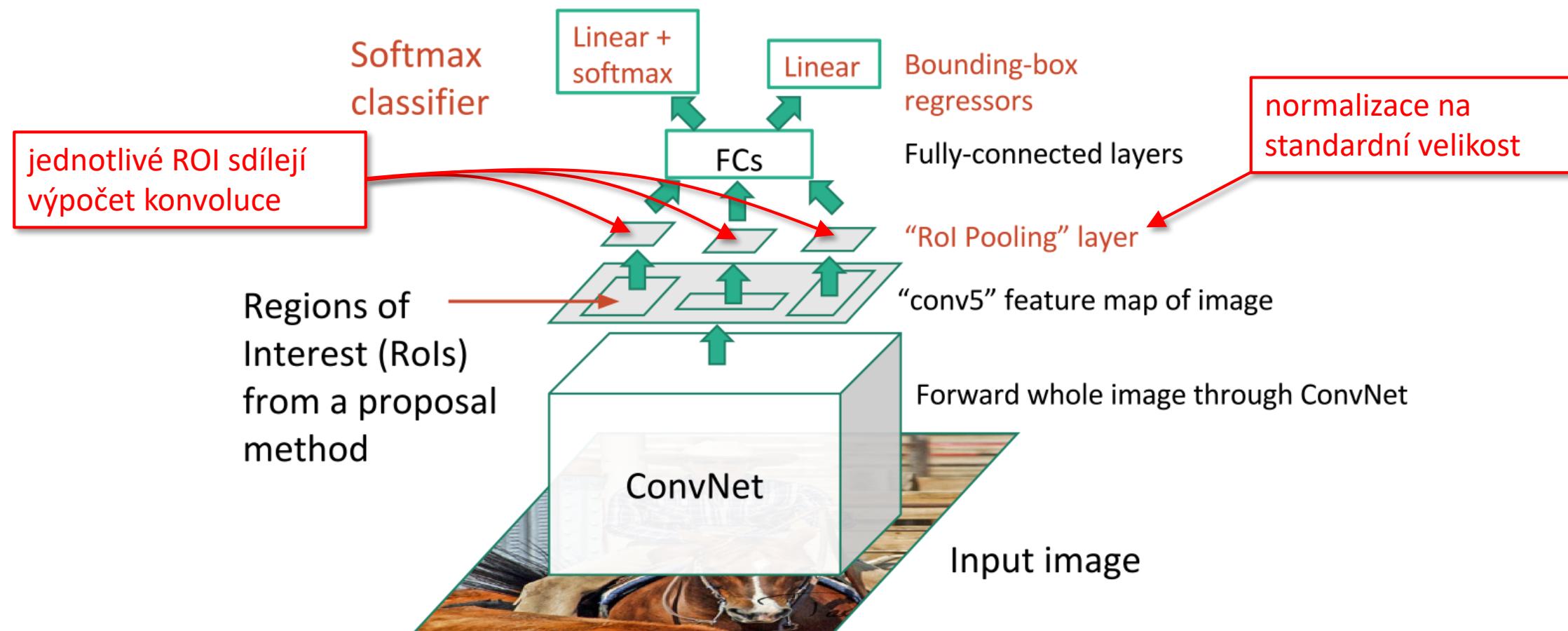
R-CNN



obrázek: <https://dl.dropboxusercontent.com/s/vlyrkgd8nz8gy5l/fast-rcnn.pdf?dl=0>

R-CNN vs Fast R-CNN

Fast R-CNN



obrázek: <https://dl.dropboxusercontent.com/s/vlyrkgd8nz8gy5l/fast-rcnn.pdf?dl=0>

Rychlost Fast R-CNN

	R-CNN	Fast R-CNN
Trénování	84 hod.	9.5 hod.
Zrychlení trénování	1x	8.8x
Test průchod	47.0 s	0.32 s
Zrychlení testovacího průchodu	1x	146x
mAP (přesnost)	66.0 %	66.9 %

časy jsou bez externího region proposal algoritmu,
který v případě cca 640x480 obrázku trvá cca 2 s; při
započtení je zrychlení cca 21x

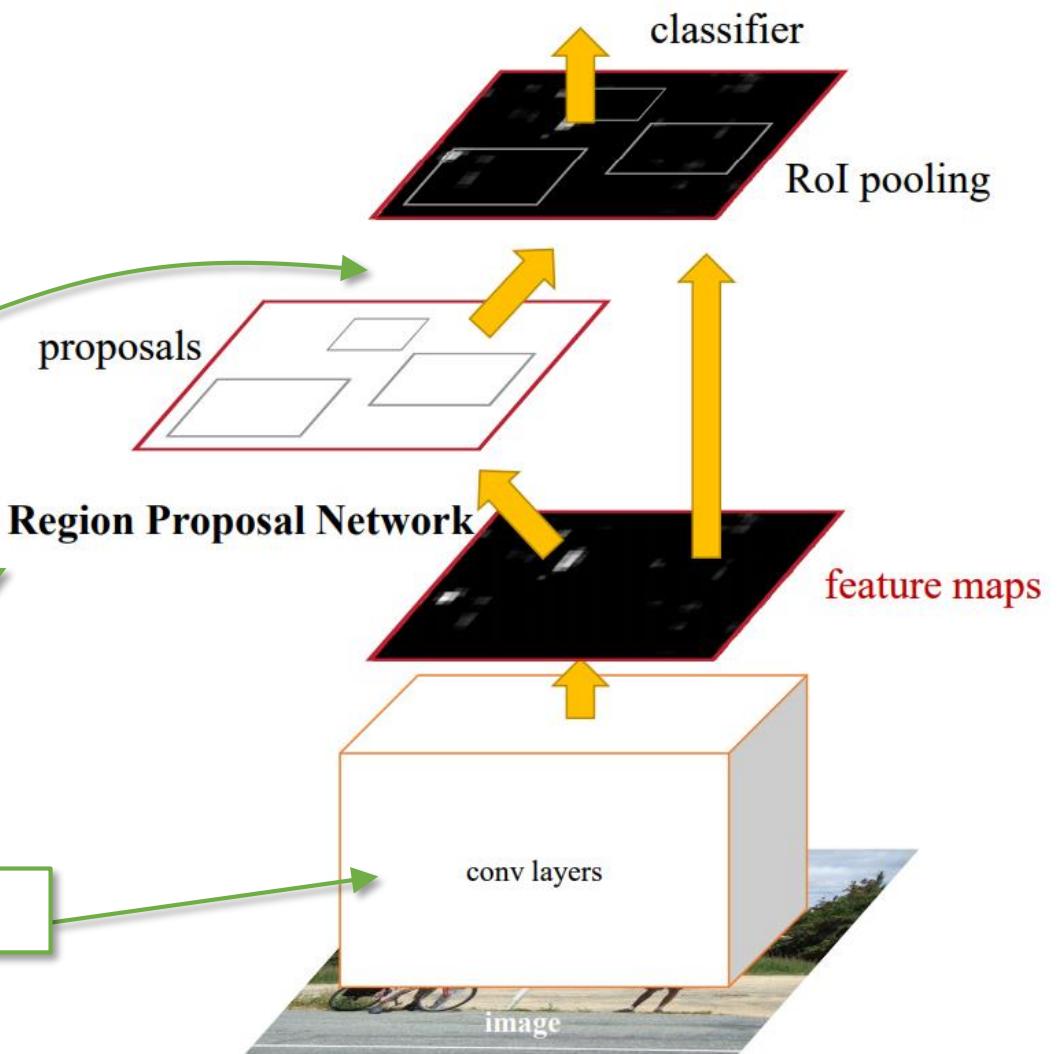
Faster R-CNN

- všechny komponenty systému jsou trénovatelné, včetně návrhu oblastí (ROI)
- Fast R-CNN má mezi vstupem a konvolucemi nediferencovatelný návrh oblastí

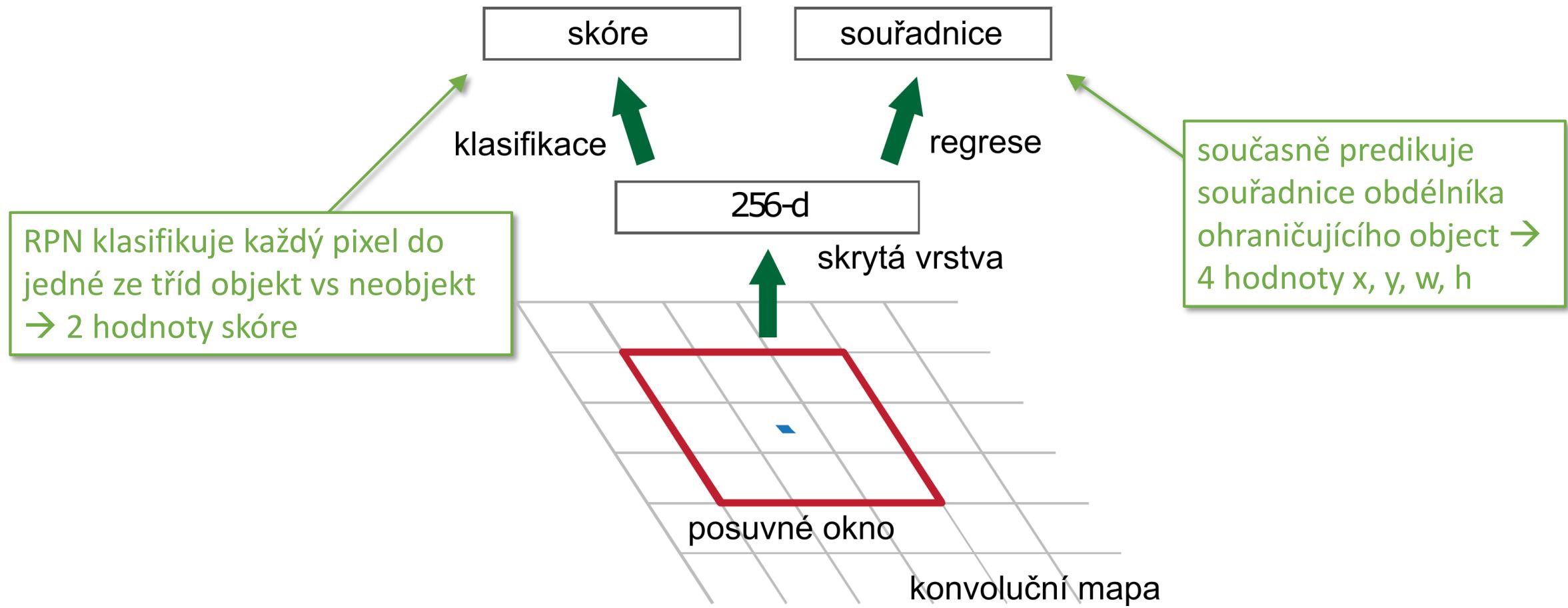
sítí vybere několik ROI (typicky 300) a ty následně klasifikuje

region proposals zajišťuje součást neurosítě, tzv. Region Proposal Net (RPN)

VGG / ResNet / Inception / ...

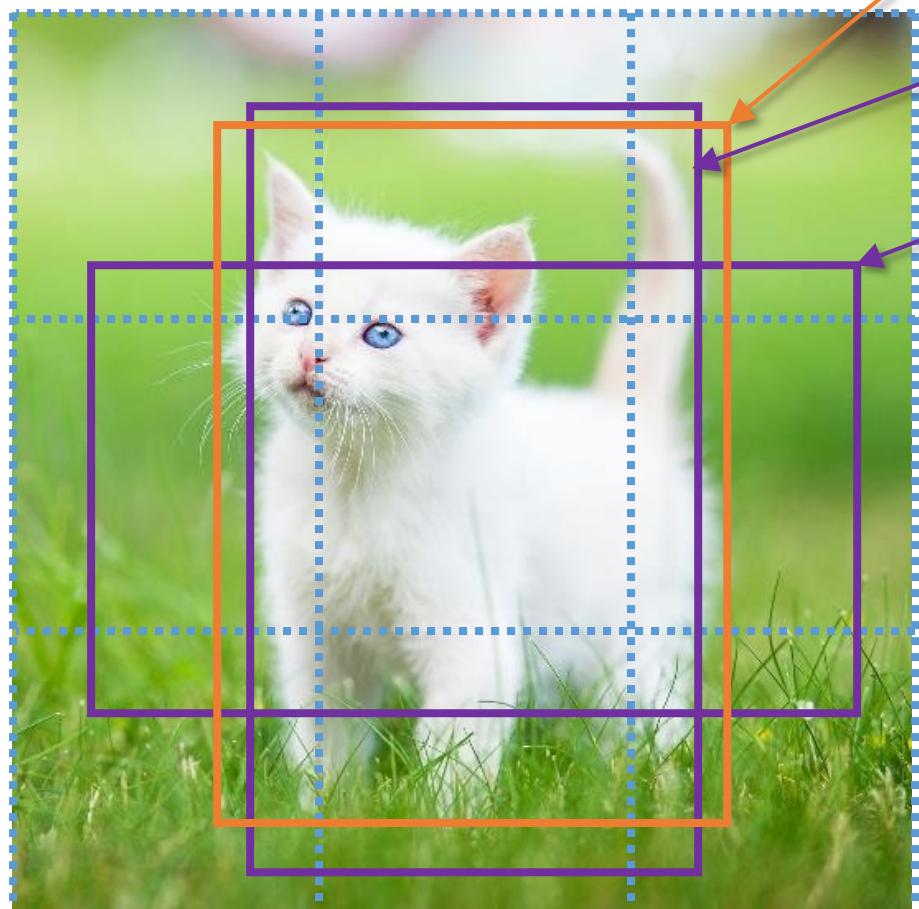


Region proposal network (RPN)



Predikce obdélníků: anchor boxes

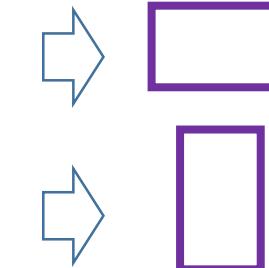
pro ilustraci obrázek rozdělen na
3x3 “pixely”



anotovaný obdélník R1

anchor box B1

anchor box B2



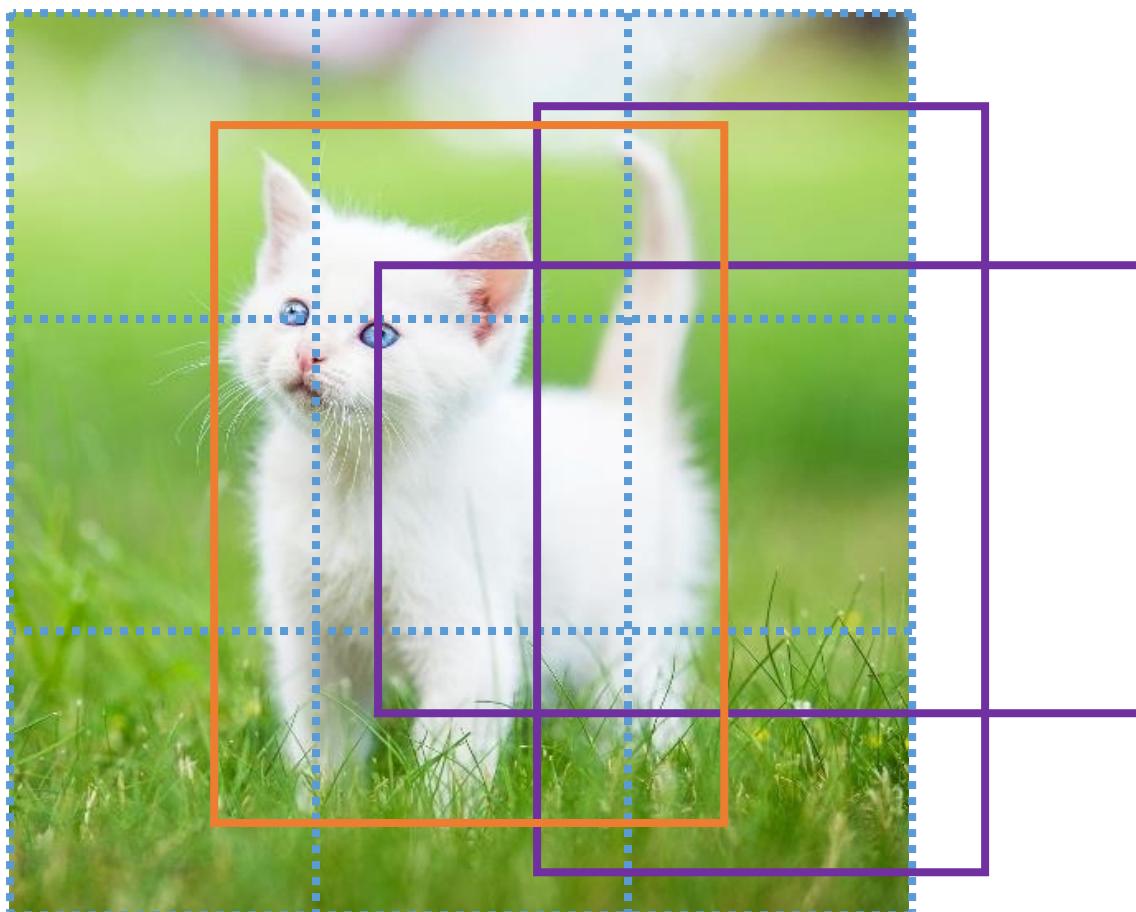
zde má každý “pixel” dva
anchor boxy

sít’ se pro každý anchor box učí predikovat:

- $S_{\text{objekt}}, S_{\text{neobjekt}} \dots$ skóre / pr., zda box obsahuje objekt
- $b_x, b_y, b_w, b_h \dots$ čísla relativní vůči velikosti anchor boxu, která ho upravují na pozici a rozměry přiřazeného anotovaného obdélníku
- pokud se anchor box dostatečně nepřekrývá s žádným obdélníkem, pak se korekce souřadnic ignoruje

Predikce obdélníků: anchor boxes

pro ilustraci obrázek rozdělen na
3x3 “pixely”

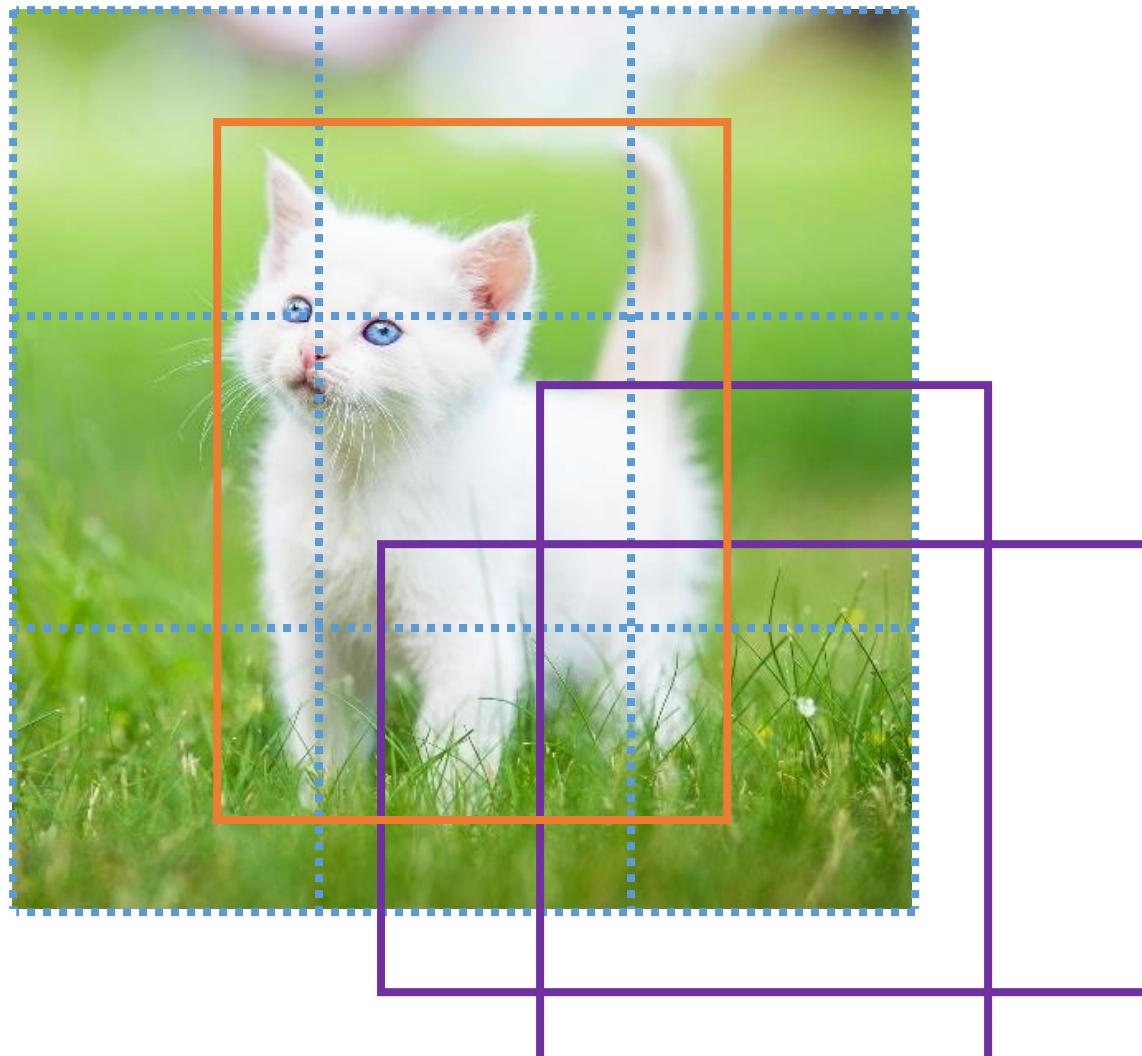


to samé pro všechny prohledávací pozice

ani jeden z anchor boxů se dostatečně
nepřekrývá s anotovaným obdélníkem

Predikce obdélníků: anchor boxes

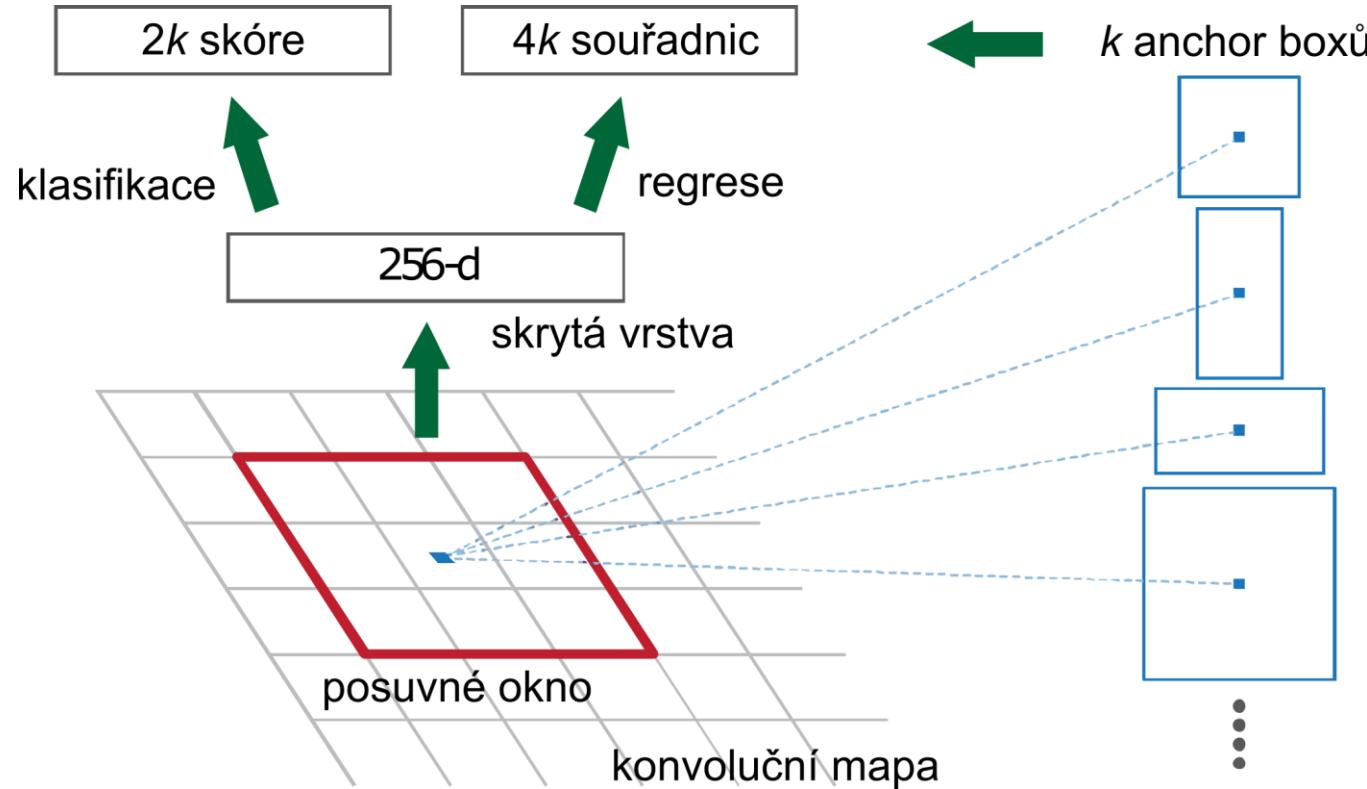
pro ilustraci obrázek rozdělen na
3x3 “pixely”



to samé pro všechny prohledávací pozice

ani jeden z anchor boxů se dostatečně
nepřekrývá s anotovaným obdélníkem

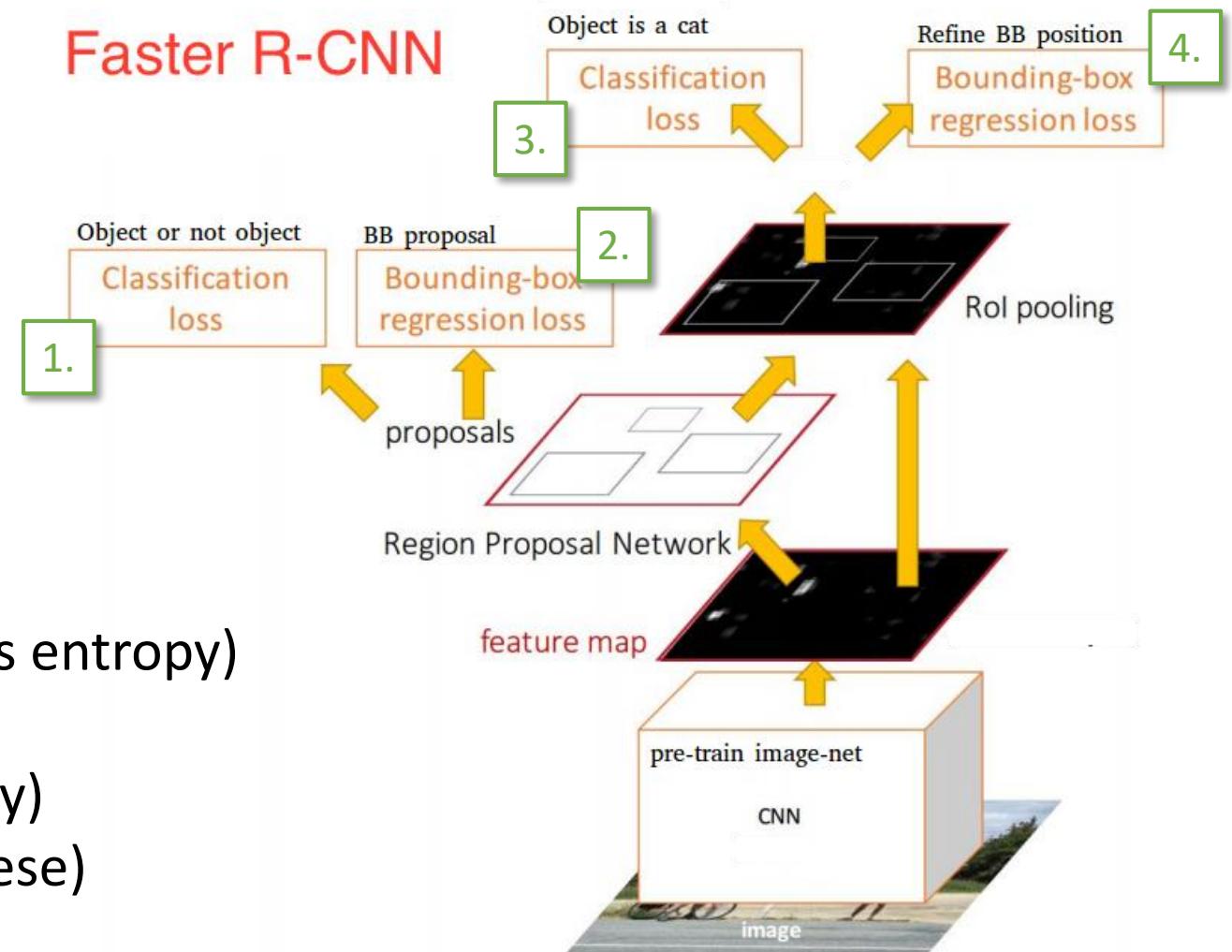
Region proposal network (RPN)



jednomu pixelu odpovídá k anchor boxes (v orig. článku $k = 9$)

RPN predikuje pro každé z nich
→ proto má $2k$ klasifikačních a
 $4k$ regresních výstupů

Trénování Faster R-CNN



Celkový loss je suma 4 dílčích:

1. RPN objekt/neobjekt (softmax cross entropy)
2. RPN obdélník (Smooth L1 regrese)
3. třída objektu (softmax cross entropy)
4. korekce obdélníka (Smooth L1 regrese)

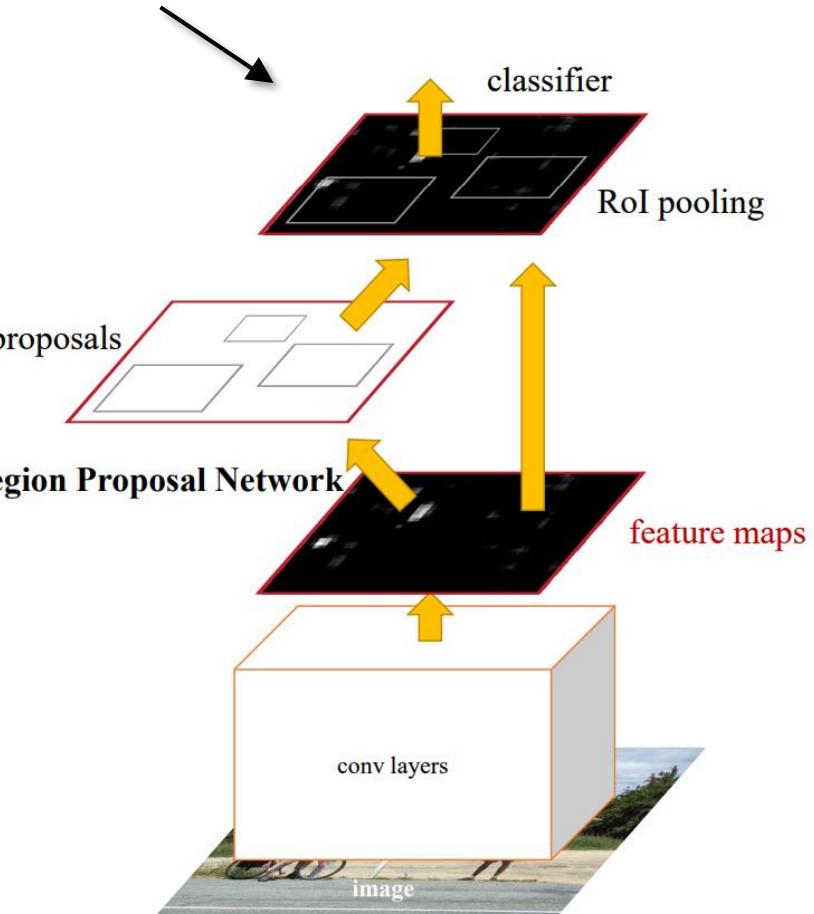
R-CNN vs Fast R-CNN vs Faster R-CNN

	R-CNN	Fast R-CNN	Faster R-CNN
Test průchod	49.0 s	2.32 s	0.2 s
Zrychlení testovacího průchodu	1x	21x	245x
mAP (přesnost)	66.0 %	66.9 %	66.9 %

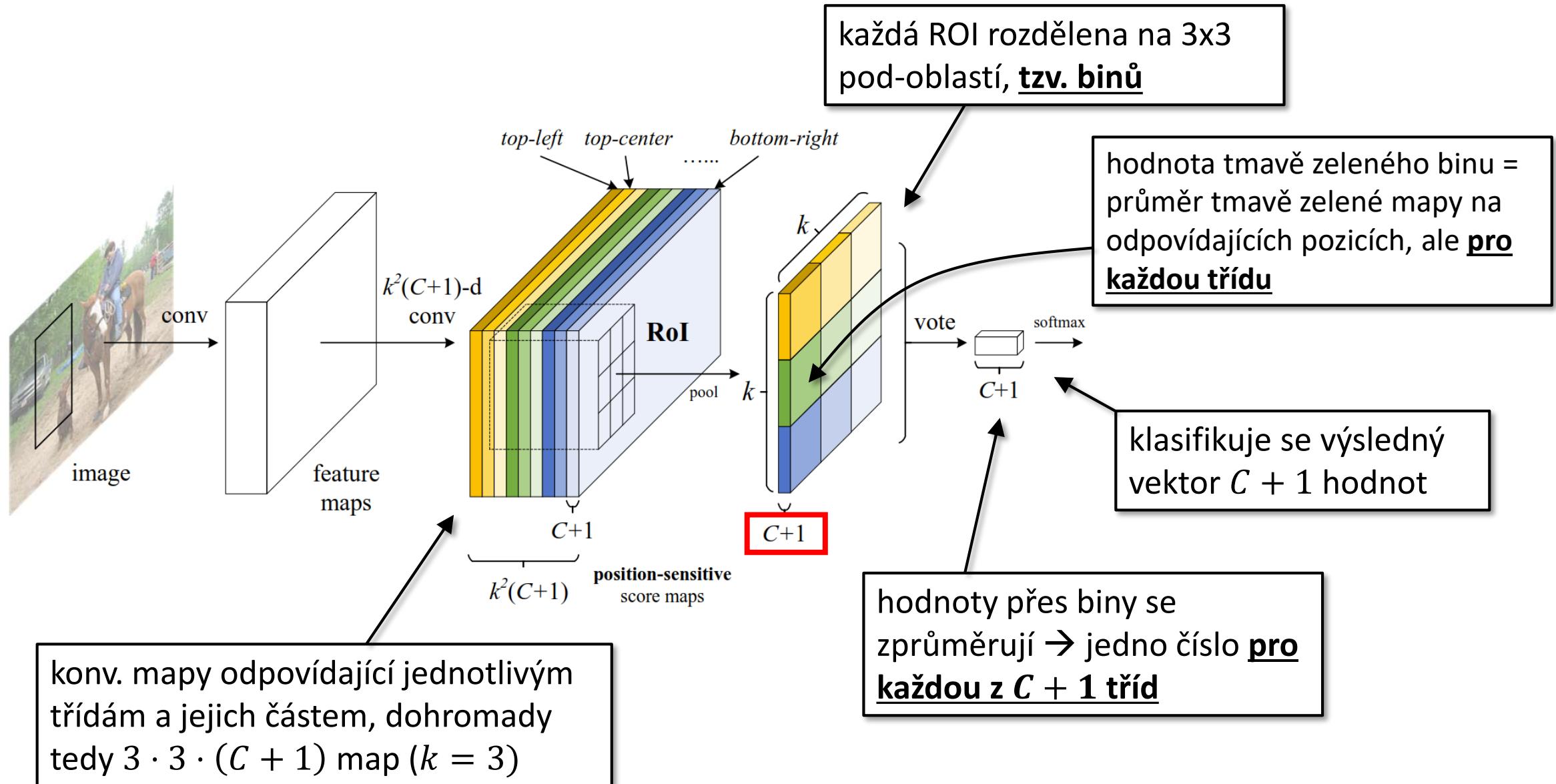
Region Fully Convolutional Net (R-FCN)

- Fast/Faster R-CNN zrychlují sdílením výpočtů konvolucí
- klasifikační vrstva funguje ale pro jednotlivé ROI funguje nezávisle
- R-FCN posouvá RPN až na úplný konec sítě
- Vše je tedy vyjádřeno jako konvoluce a sdíleno pro všechny ROI
- Ještě rychlejší než Faster R-CNN

U Faster R-CNN jednotlivé průchody klasifikátoru oddělené



Region Fully Convolutional Net (R-FCN)



Region Fully Convolutional Net (R-FCN)

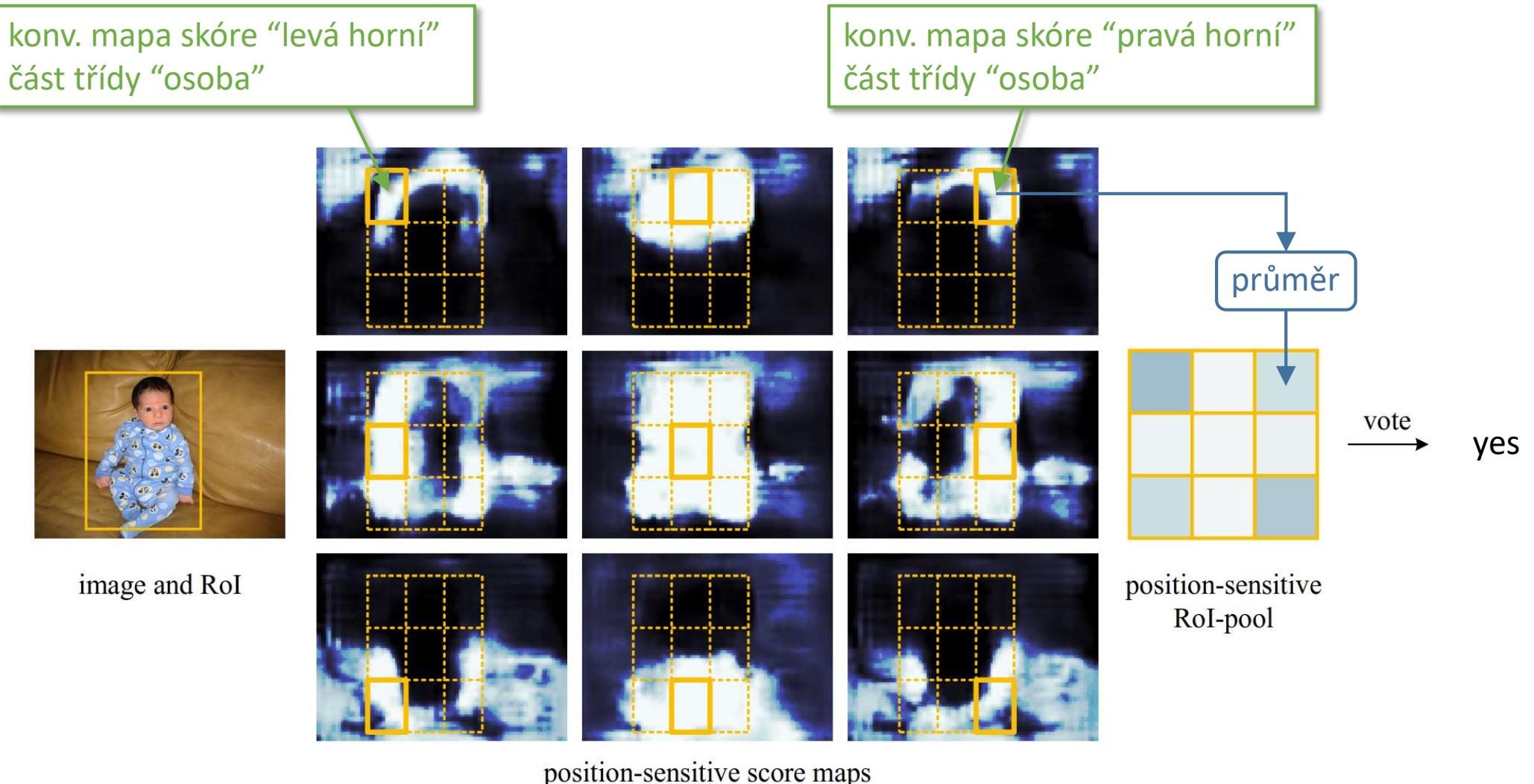


Figure 3: Visualization of R-FCN ($k \times k = 3 \times 3$) for the *person* category.

Region Fully Convolutional Net (R-FCN)

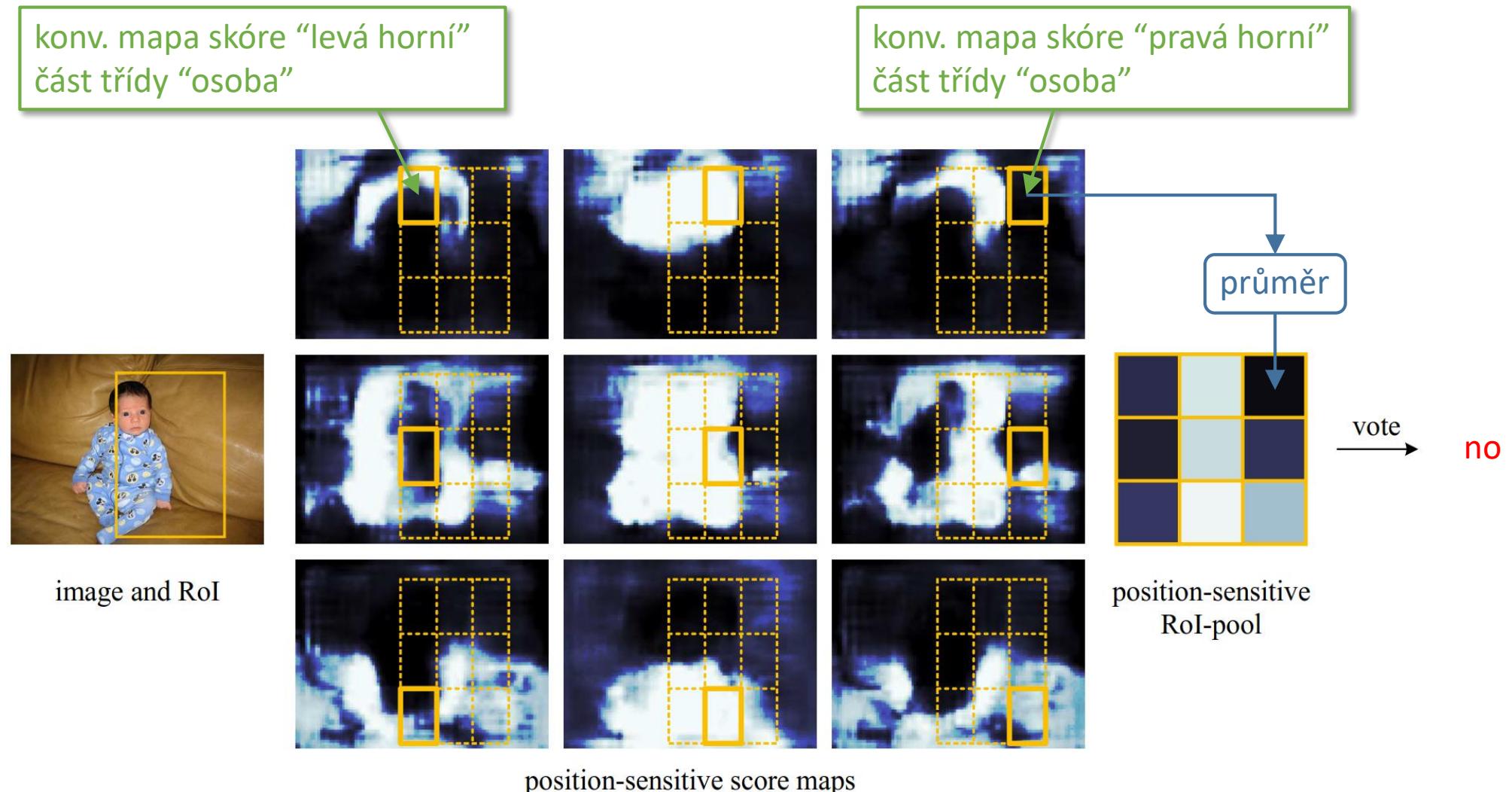
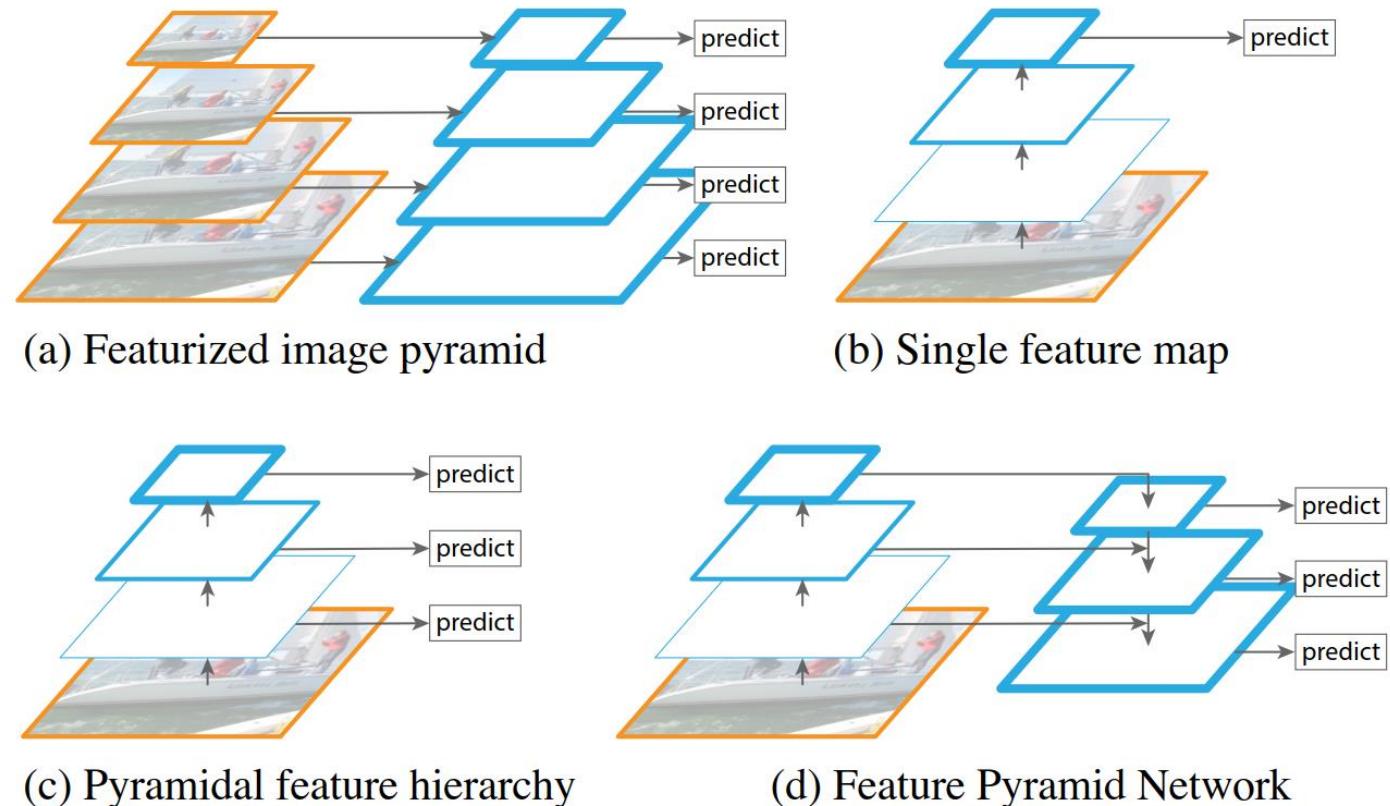


Figure 4: Visualization when an ROI does not correctly overlap the object.

Feature Pyramid Network (FPN)

- Jedním ze zdrojů chyb variabilní velikosti objektů
- Ke konvoluční síti extrahující příznaky (tzv. backbone síť) se připojí paralelní síť s opačným tokem odshora dolů
- Predikce (RPN, boxy, klasifikace) se provádějí na všech vrstvách FPN
- Např. RPN má na každé vrstvě FPN anchor boxy jen s jednou velikostí
- Lze použít s libovolným detektorem
- Zlepšuje skóre o několik procent



Detekce jako regrese

Detekce jako regrese: You only look once (YOLO)

- podobné jako region proposal network (RPN) u Faster R-CNN, ovšem zde rovnou i s predikcí třídy
- obrázek se rozdělí na 7×7 buněk
- v každé buňce predikce 2 anchor boxů

každý anchor je $4 + 1 + C$ čísel:

- p_{obj} ... pr., zda box obsahuje objekt
- b_x, b_y, b_w, b_h ... čísla relativní vůči velikosti anchor boxu, která ho upravují na pozici a rozměry přiřazeného anotovaného obdélníka
- p_0, p_1, \dots, p_C ... pravděpodobnosti všech tříd

dohromady tedy výstup ze sítě má rozměr

$$7 \times 7 \times (2 \cdot 5 + C)$$

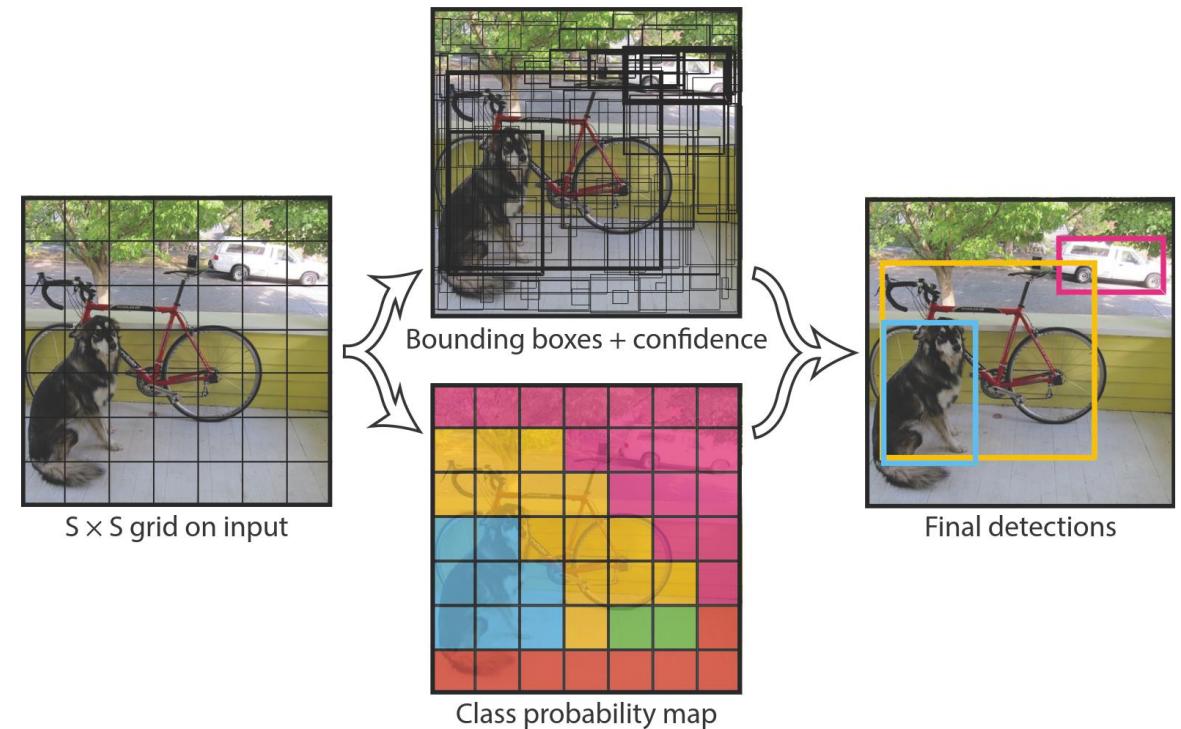


Figure 2: The Model. Our system models detection as a regression problem. It divides the image into an $S \times S$ grid and for each grid cell predicts B bounding boxes, confidence for those boxes, and C class probabilities. These predictions are encoded as an $S \times S \times (B * 5 + C)$ tensor.

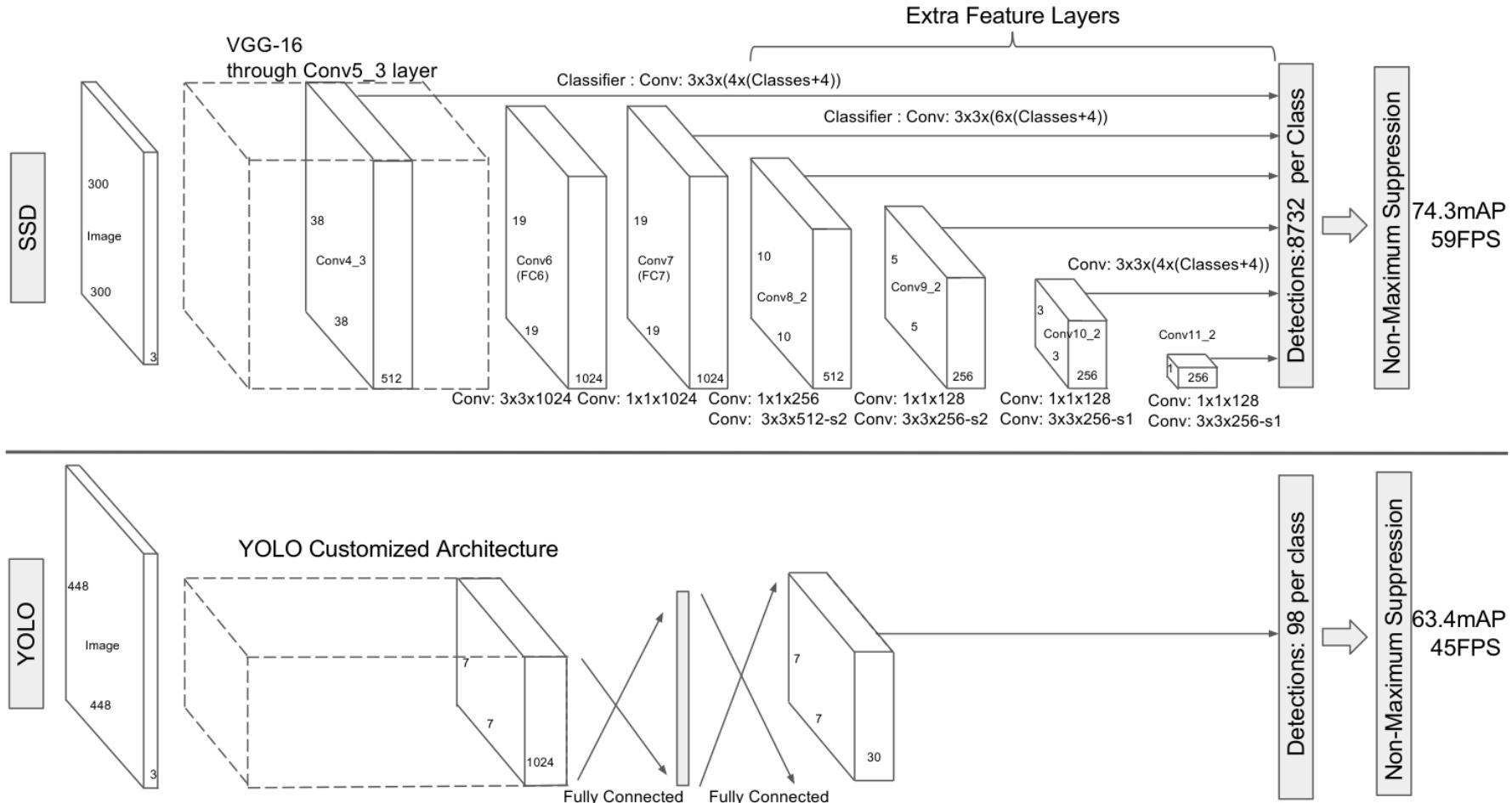
Detekce jako regrese: You only look once (YOLO)

Real-Time Detectors	Train	mAP	FPS
100Hz DPM [31]	2007	16.0	100
30Hz DPM [31]	2007	26.1	30
Fast YOLO	2007+2012	52.7	155
YOLO	2007+2012	63.4	45
Less Than Real-Time			
Fastest DPM [38]	2007	30.4	15
R-CNN Minus R [20]	2007	53.5	6
Fast R-CNN [14]	2007+2012	70.0	0.5
Faster R-CNN VGG-16[28]	2007+2012	73.2	7
Faster R-CNN ZF [28]	2007+2012	62.1	18
YOLO VGG-16	2007+2012	66.4	21

Table 1: Real-Time Systems on PASCAL VOC 2007. Comparing the performance and speed of fast detectors. Fast YOLO is the fastest detector on record for PASCAL VOC detection and is still twice as accurate as any other real-time detector. YOLO is 10 mAP more accurate than the fast version while still well above real-time in speed.

Detekce jako regrese: Single shot detection (SSD)

velmi podobné jako YOLO, predikuje boxy na základě více vrstev, ne pouze poslední → lépe řeší měřítka



Detekce jako regrese: RetinaNet

- SSD detektory klasifikují každou oblast obrázku → tzv. dense predictions (hustá mapa)
- To vede na velkou nevyváženosť objektov a pozadí (class imbalance)
- Lin et al. to řeší úpravou cross entropy lossu → **focal loss**
- Idea je položit väčšiu váhu na těžko klasifikovateľné obasti
- Trochu podobné SVM, kde body "mimo pásmo" nepriispívajú do lossu
- Od svojho uvedenia veľmi populárni, zlepšuje skóre SSD-like detektorov

[Lin et al: "Focal Loss for Dense Object Detection"](#)

RetinaNet: focal loss

- Standardní cross entropy je

$$\text{CE}(p, y) = \begin{cases} -\log(p) & \text{if } y = 1 \\ -\log(1 - p) & \text{otherwise.} \end{cases}$$

- Zavedeme

$$p_t = \begin{cases} p & \text{if } y = 1 \\ 1 - p & \text{otherwise,} \end{cases}$$

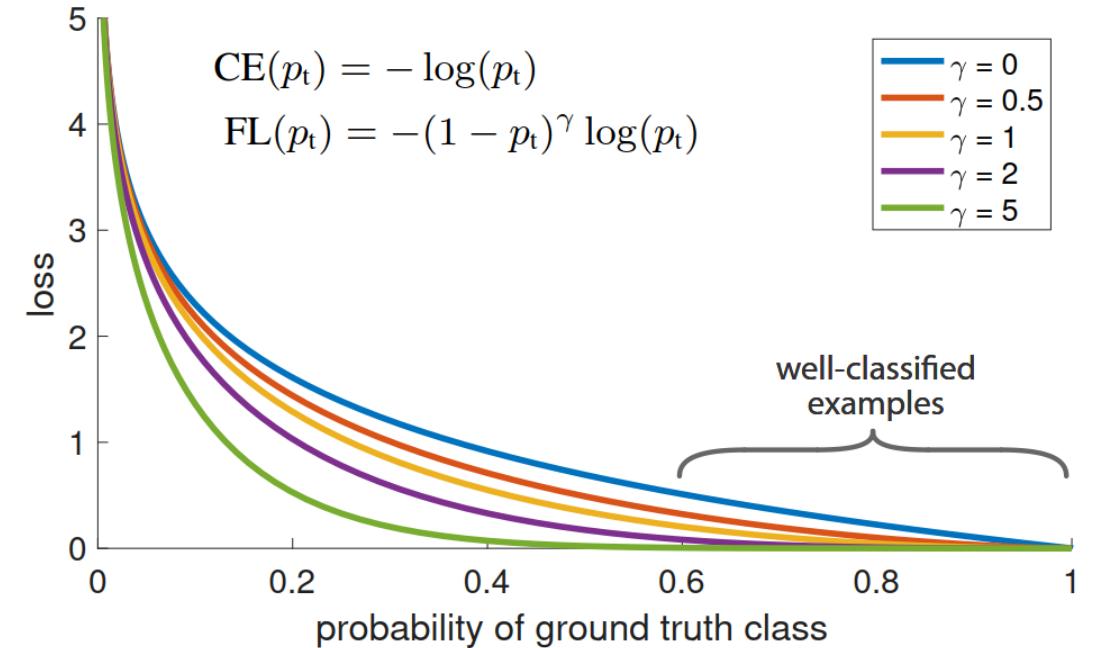
- Výsledný focal loss

$$\text{FL}(p_t) = -\alpha_t(1 - p_t)^\gamma \log(p_t)$$

γ ... hyperparametr, v praxi se používá $\gamma = 2$

α_t ... pro balancování tříd

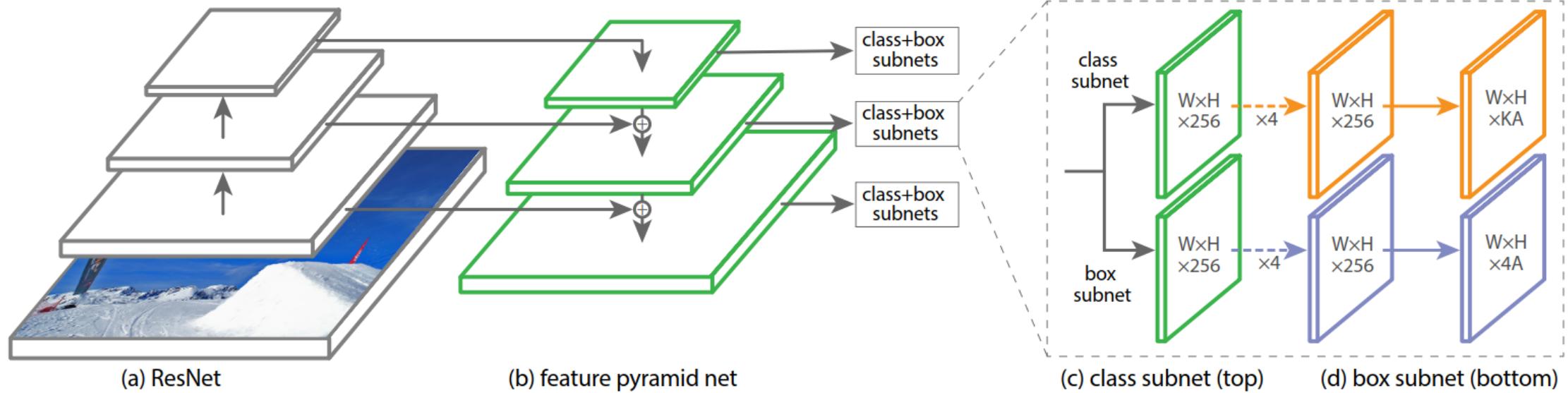
cross entropy vs focal loss



standardní cross entropy ($\gamma = 0$, modrá křivka) má velkou hodnotu lossu i např. pro $p_t = 0.8$

větší hodnota hyperparametru $\gamma \rightarrow$ menší loss pro "sebevědomé" predikce s velkou p_t (easy examples)

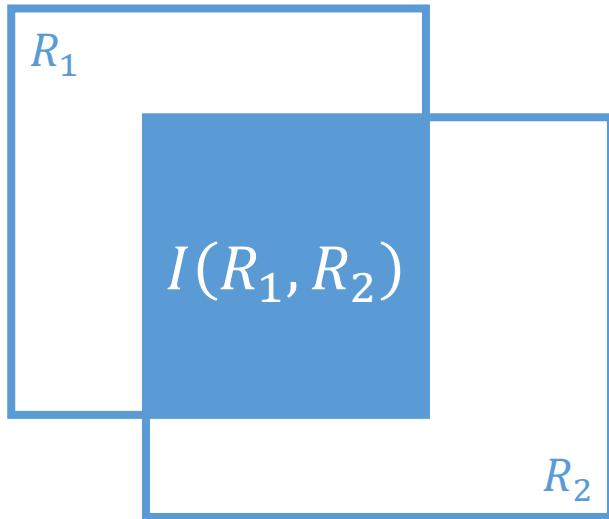
RetinaNet: architektura



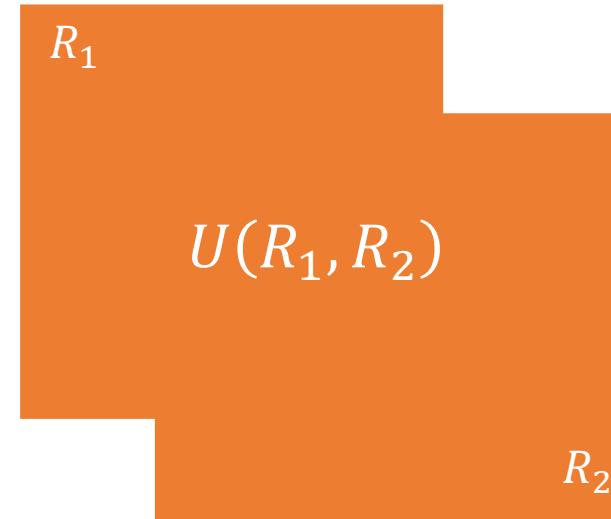
Vyhodnocení detektorů

Překryv obdélníků: intersection over union (IoU)

průnik (intersection)



sjednocení (union)



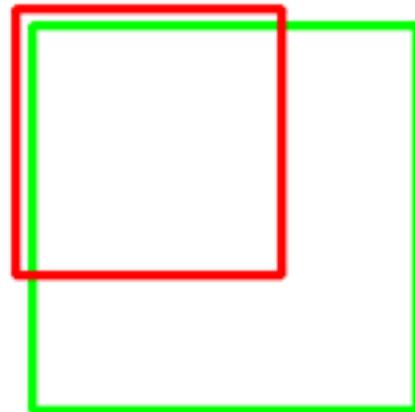
$$IoU(R_1, R_2) = \frac{\text{průnik}}{\text{sjednocení}}$$

- IoU se někdy také nazývá Jaccard index

Překryv obdélníků: intersection over union (IoU)

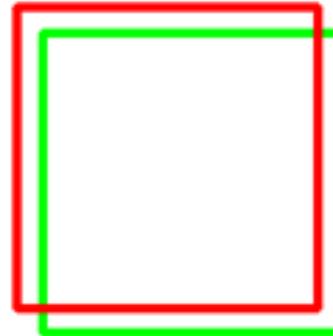
pro účely vyhodnocení se za úspěšně nalezený objekt typicky považuje $IoU \geq 0.5$

$IoU: 0.4034$



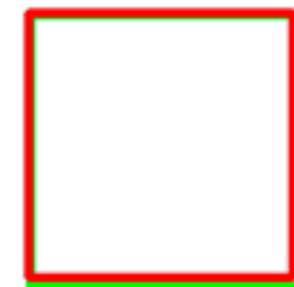
Poor

$IoU: 0.7330$



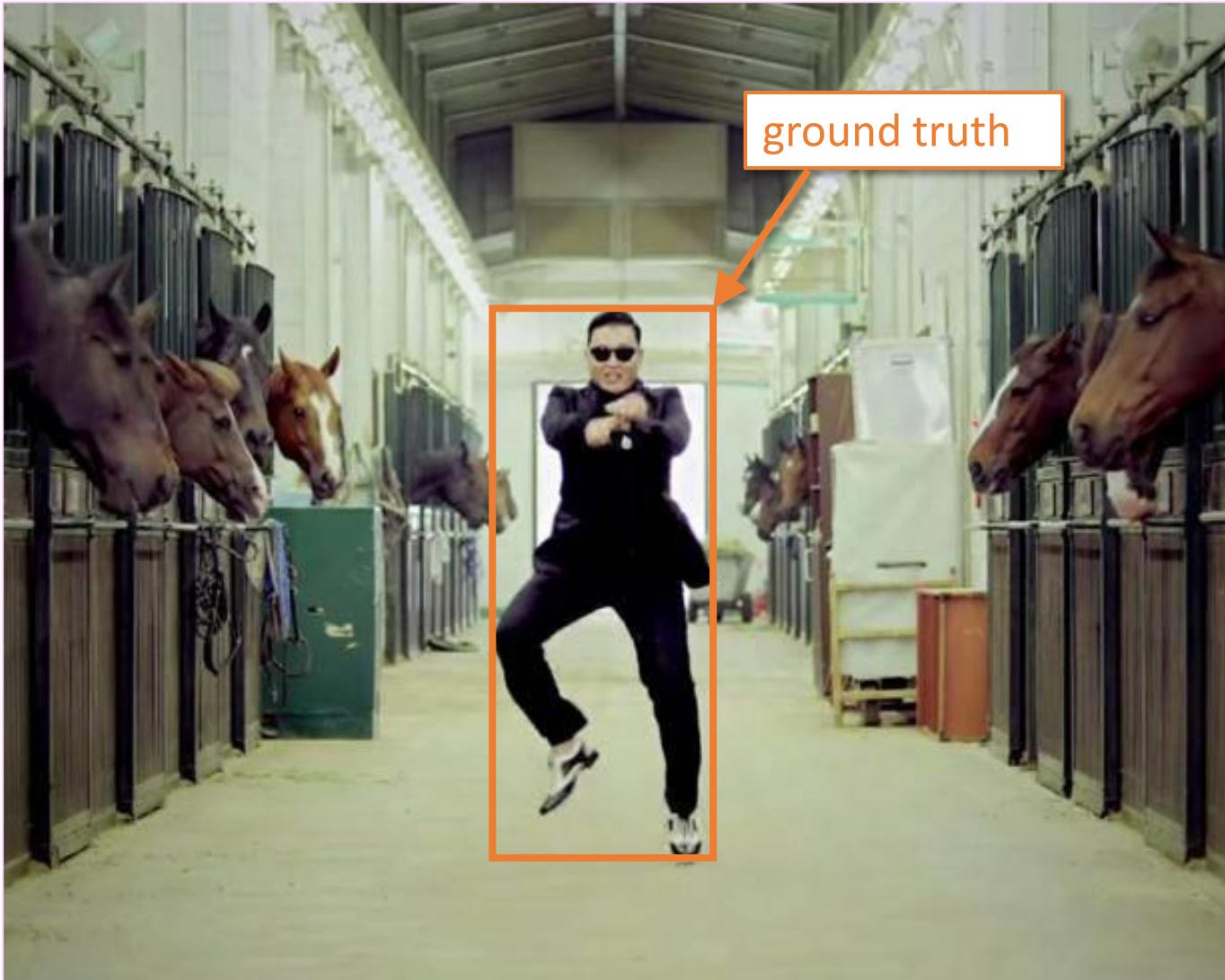
Good

$IoU: 0.9264$

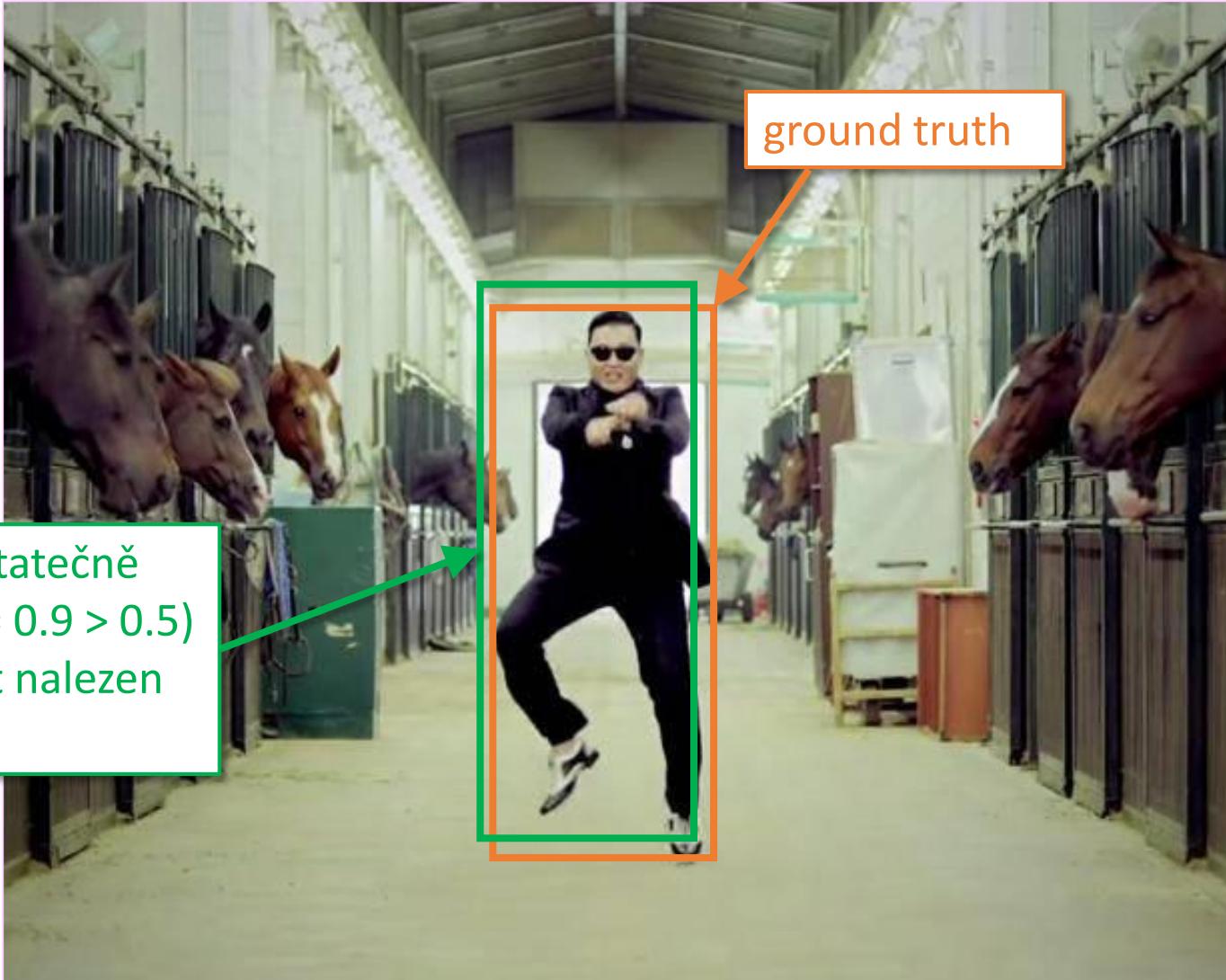


Excellent

True positives (TP) a false positives (FP)

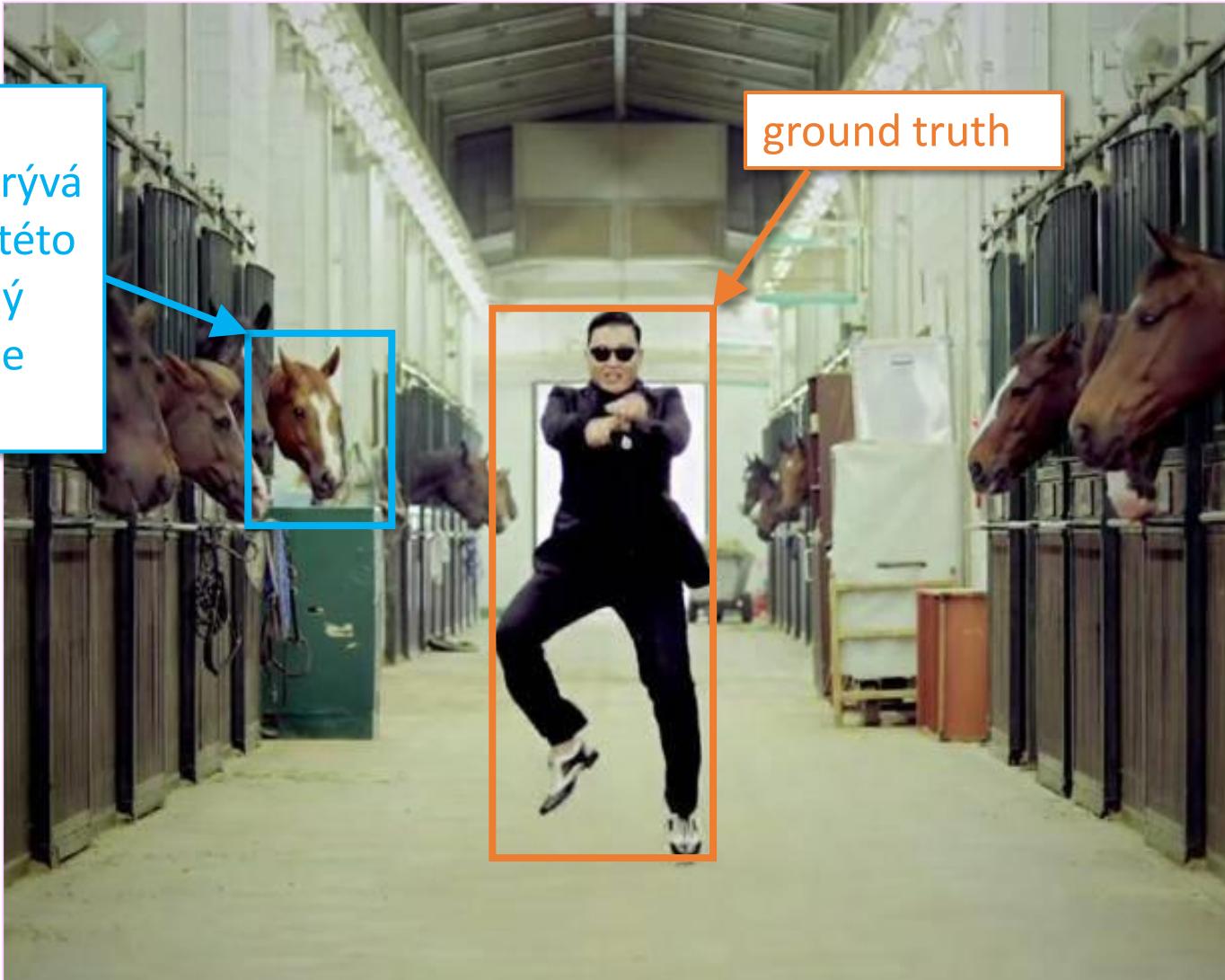


True positives (TP) a false positives (FP)

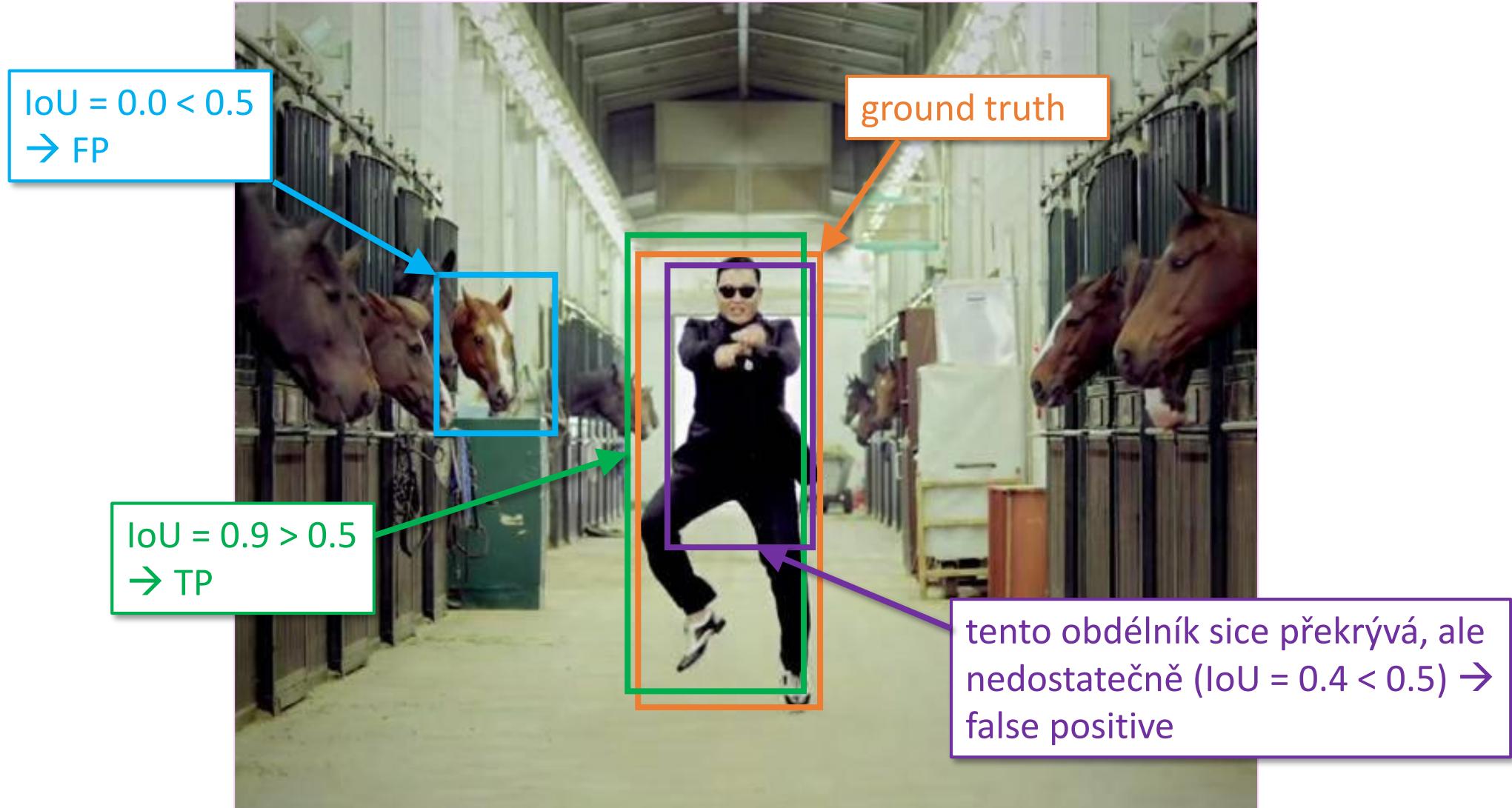


True positives (TP) a false positives (FP)

nalezen obdélník, ale
anotaci vůbec nepřekrývá
(IoU = $0.0 < 0.5$) = na této
pozici neměl být žádný
objekt nalezen → false
positive



True positives (TP) a false positives (FP)



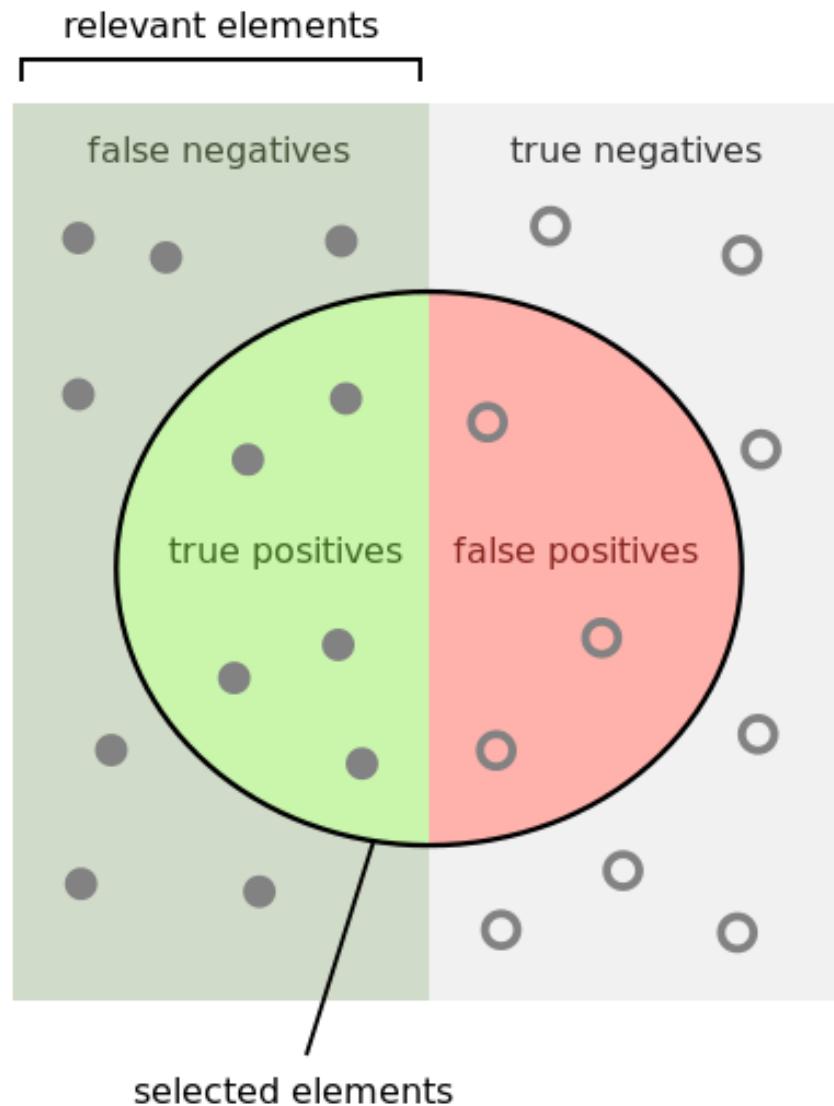
Více obdélníků na jeden objekt: hladové vyhodnocení



Více obdélníků na jeden objekt: hladové vyhodnocení



Precision a recall



How many selected items are relevant?

$$\text{Precision} = \frac{\text{tp}}{\text{tp} + \text{fp}}$$

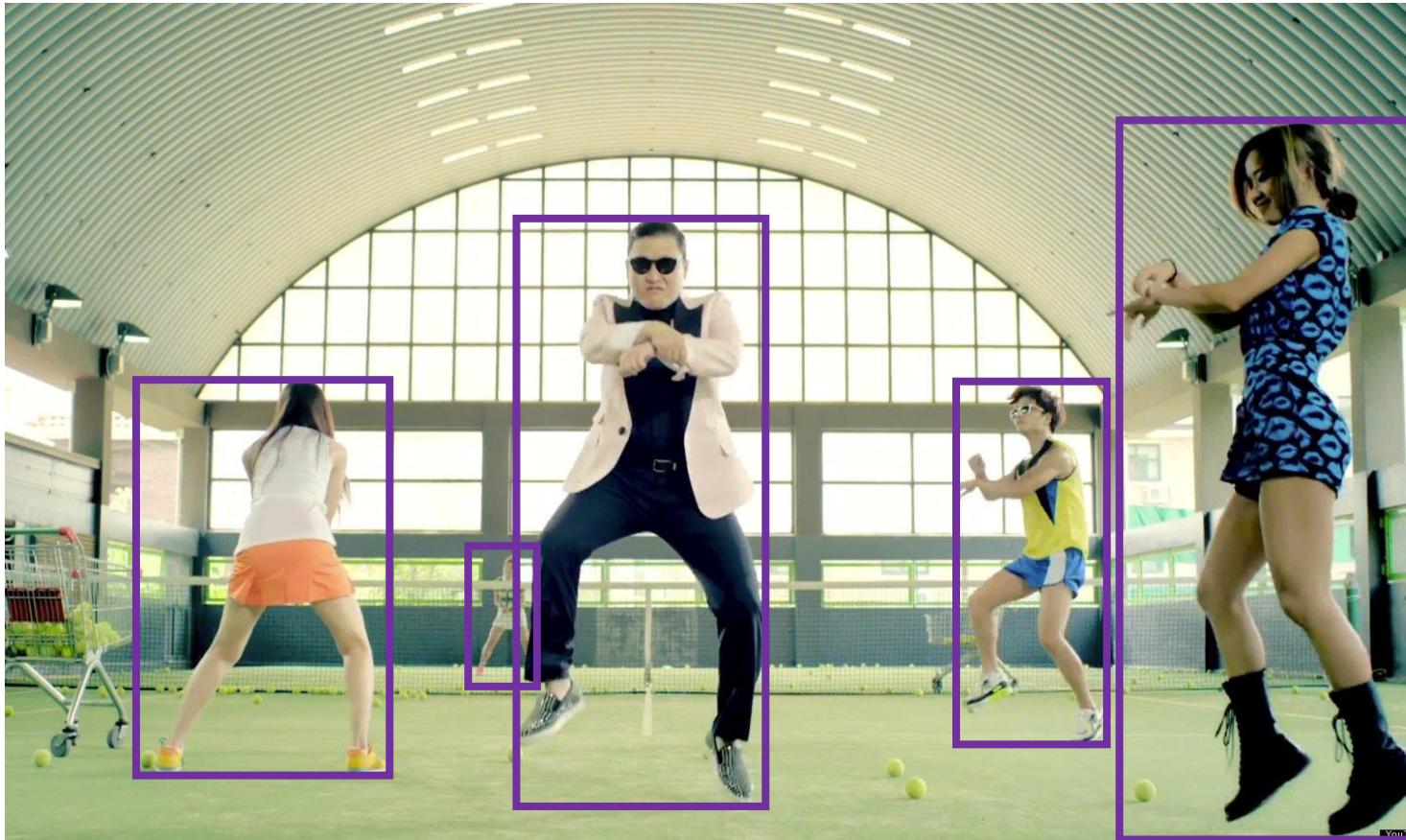
detektor nalezl 9 objektů, ale pouze 7 z nich bylo správně, ostatní byly falešné detekce → precision = 7/9 = 78 %

How many relevant items are selected?

$$\text{Recall} = \frac{\text{tp}}{\text{tp} + \text{fn}}$$

detektor měl najít najít 10 objektů, ale správně jich nalezl pouze 7 → recall = 70%

Precision a recall: příklad



ground truth
celkem 5 osob

Precision a recall: příklad

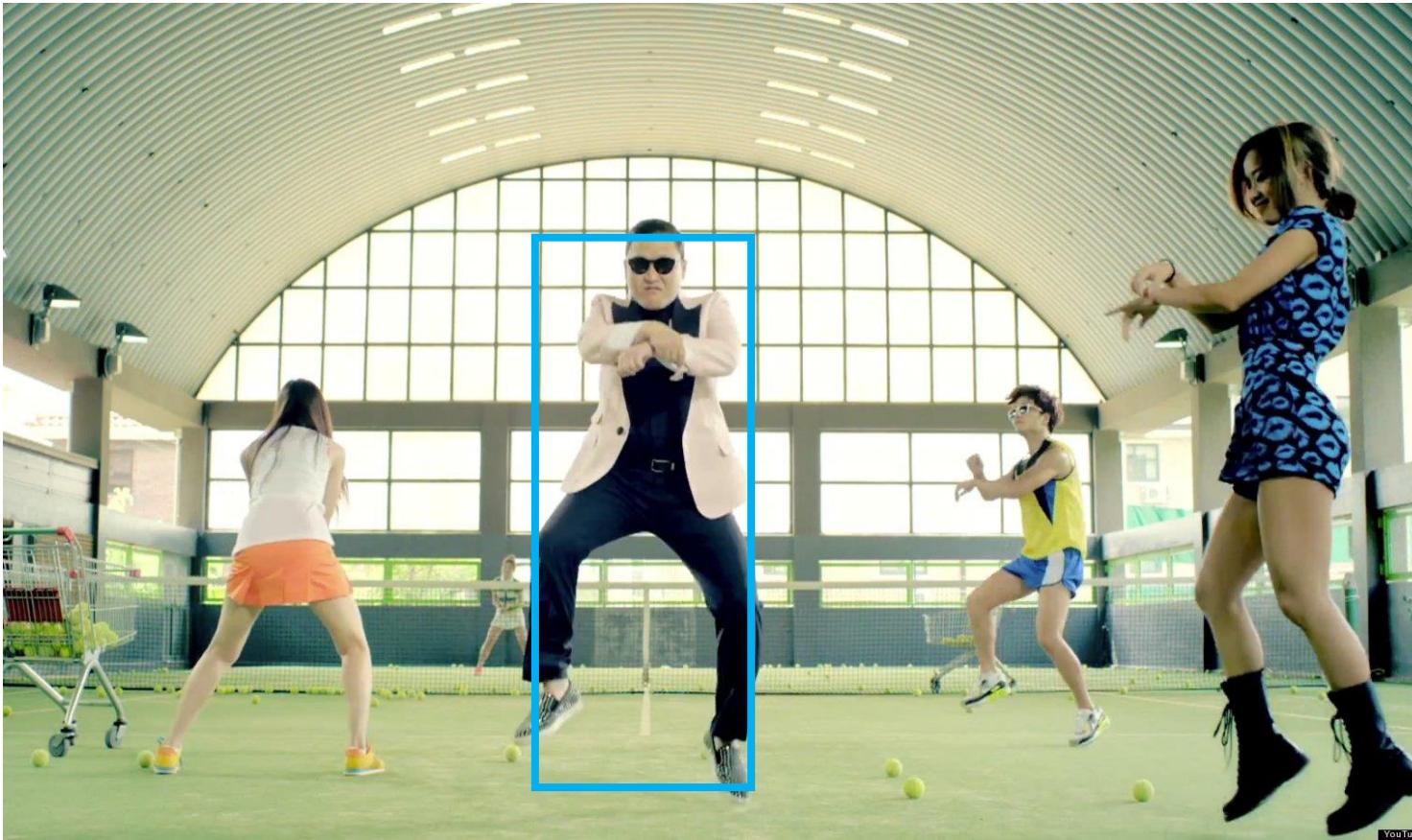


ground truth
celkem 5 osob

pouze detekce s $P(\text{osoba}) = 1.0$

0 detekovaných osob
 $\text{recall} = 0/5 = 0\%$
 $\text{precision} = 0/0 = 100\%$

Precision a recall: příklad

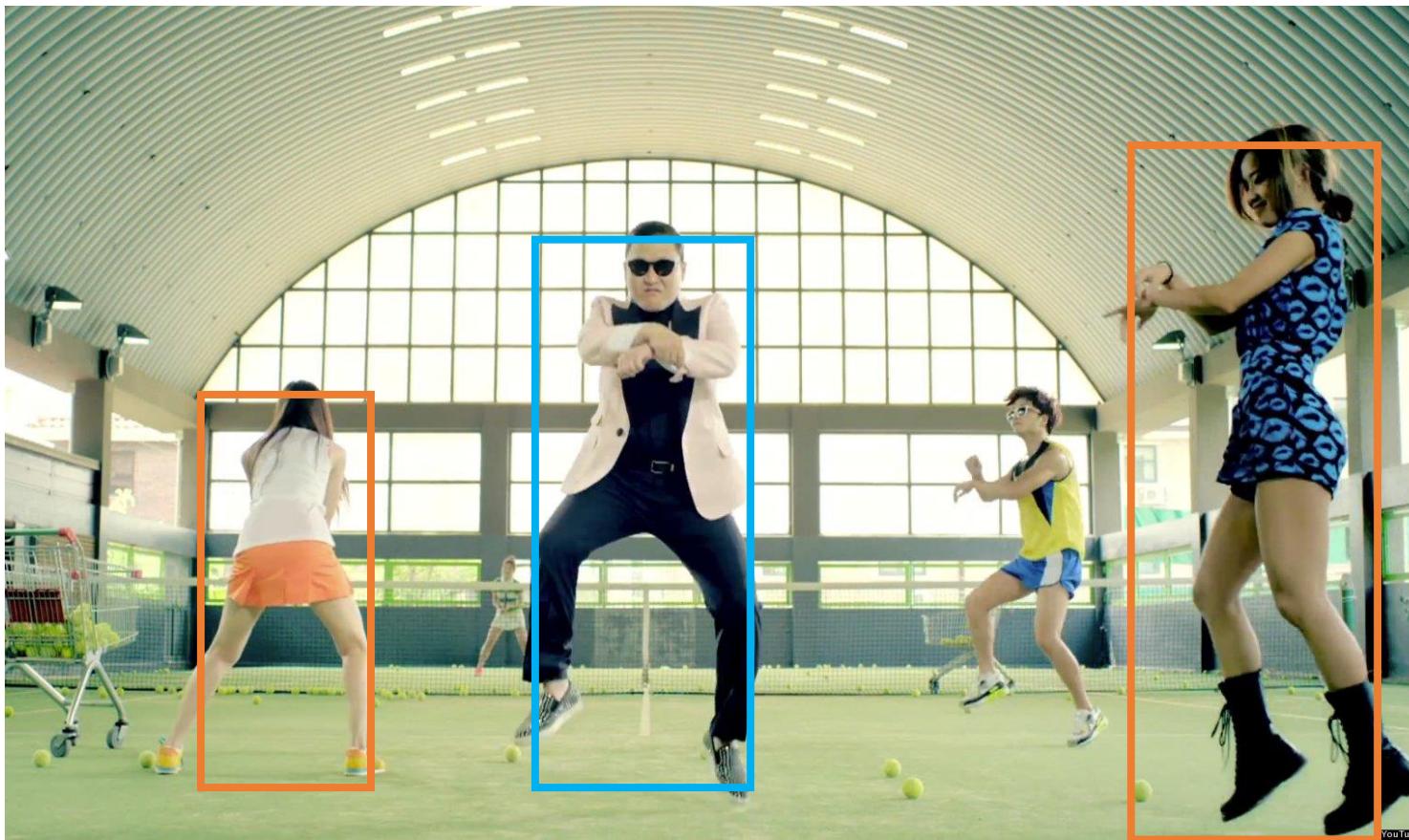


ground truth
celkem 5 osob

pouze detekce s $P(\text{osoba}) > 0.9$

1 detekovaná osoba
 $\text{recall} = 1/5 = 20\%$
 $\text{precision} = 1/1 = 100\%$

Precision a recall: příklad

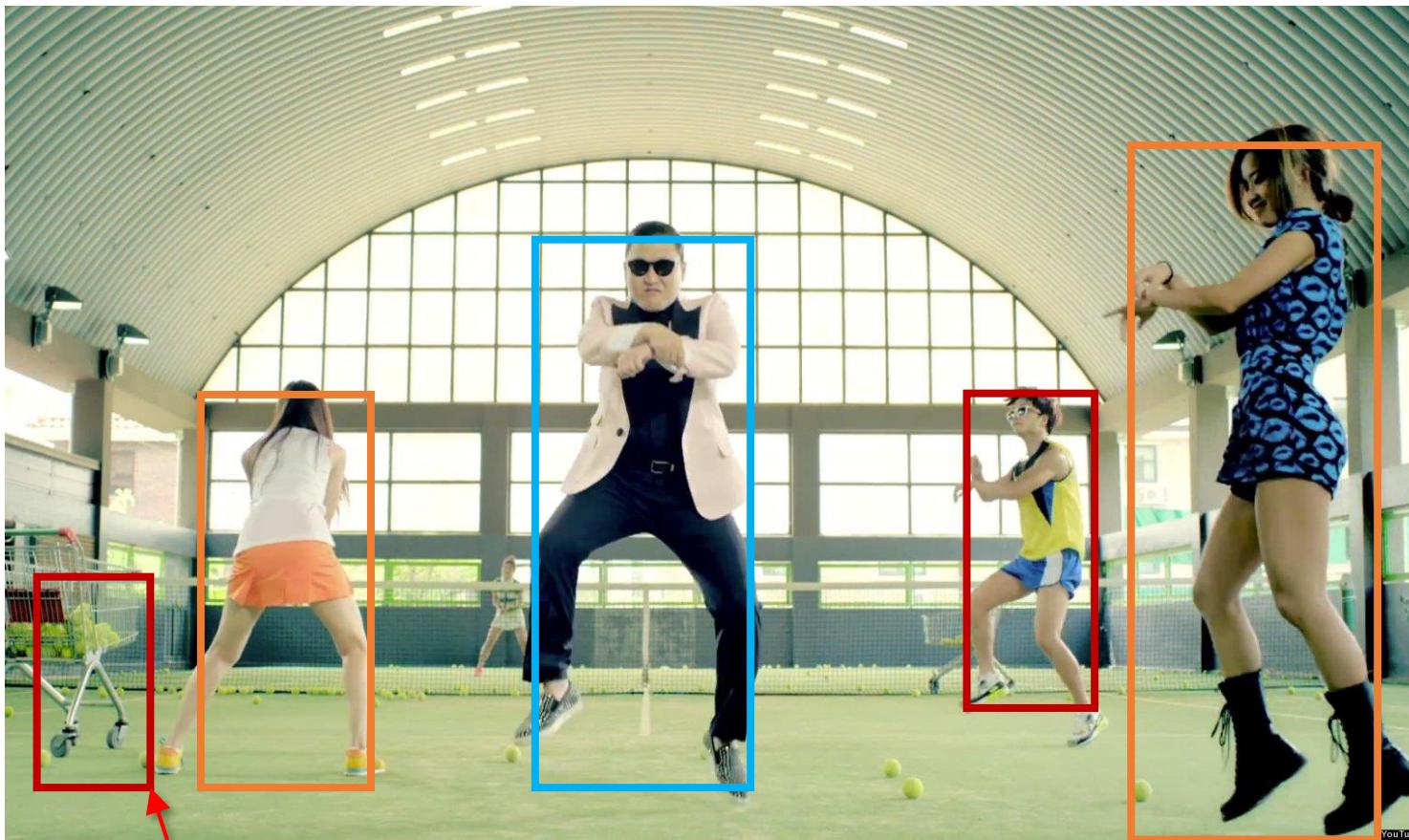


ground truth
celkem 5 osob

pouze detekce s $P(\text{osoba}) > 0.8$

3 detekované osoby
 $\text{recall} = 3/5 = 60\%$
 $\text{precision} = 3/3 = 100\%$

Precision a recall: příklad



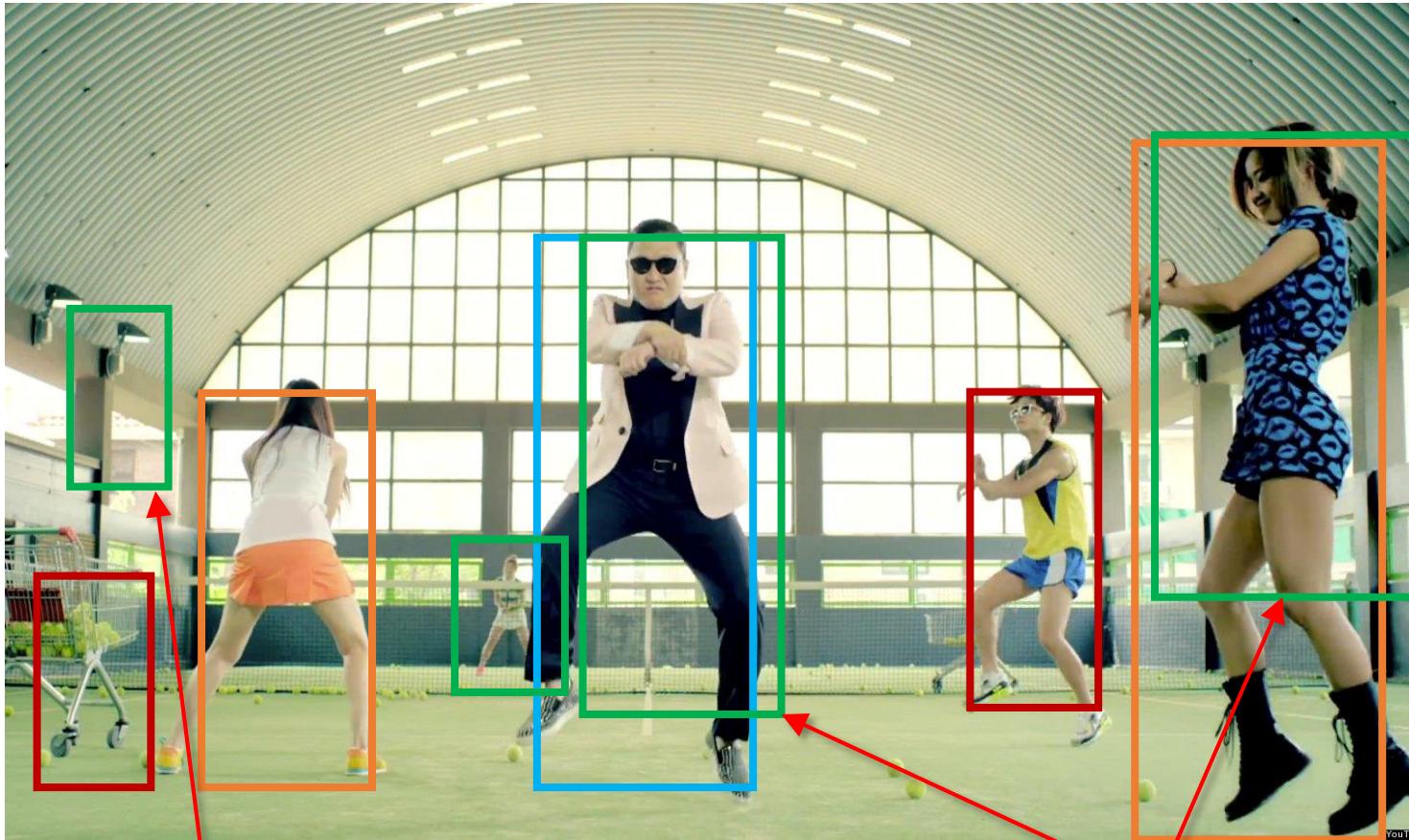
false positive

ground truth
celkem 5 osob

pouze detekce s $P(\text{osoba}) > 0.7$

5 detekovaných osob
 $\text{recall} = 4/5 = 80\%$
 $\text{precision} = 4/5 = 80\%$

Precision a recall: příklad



false positive

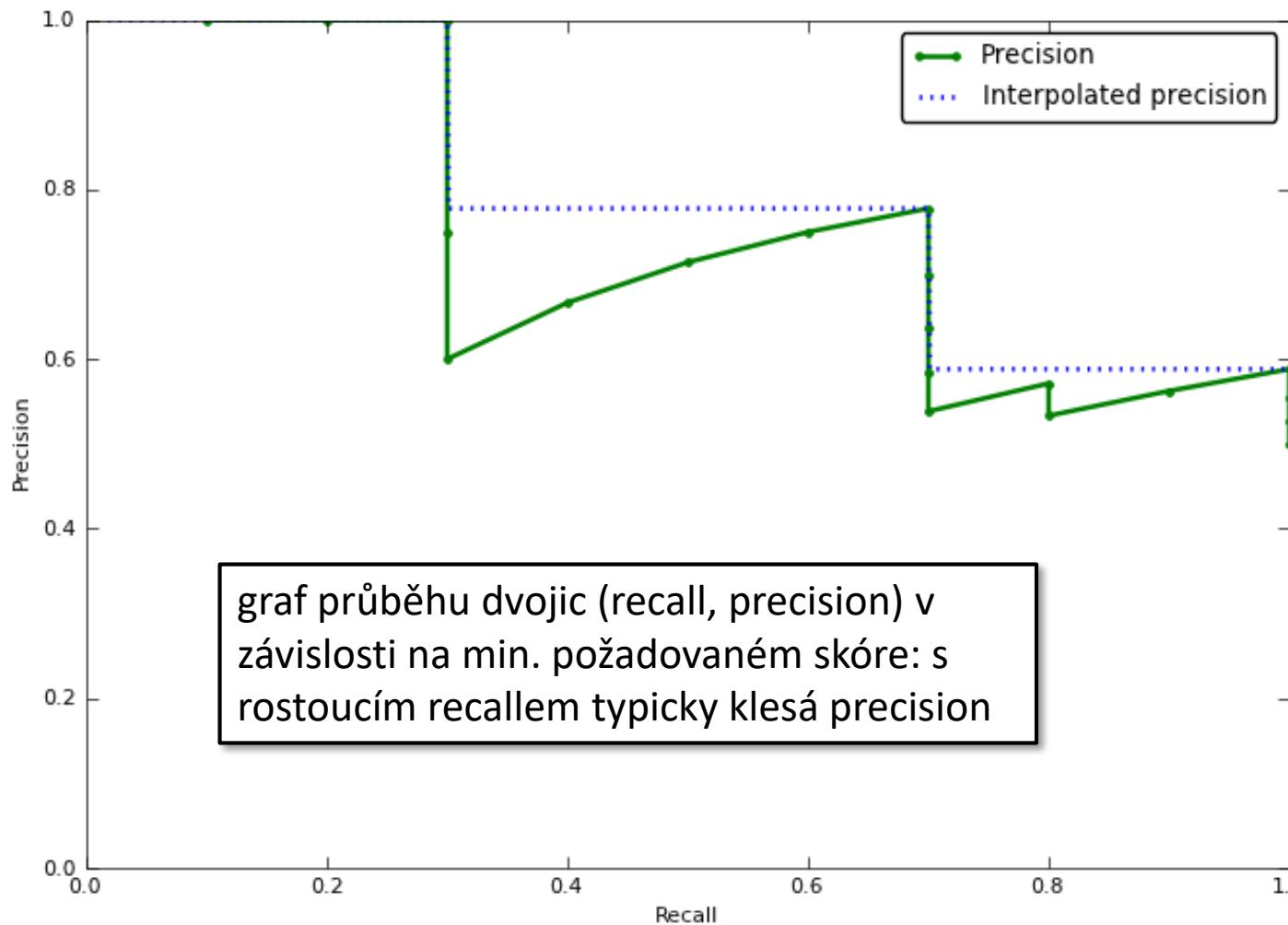
také false positives, protože překrývají osoby, které už byly přiřazeny jiným detektům s vyšší $P(\text{osoba})$

ground truth
celkem 5 osob

pouze detekce s $P(\text{osoba}) > 0.5$

9 detekovaných osob
 $\text{recall} = 5/5 = 100\%$
 $\text{precision} = 5/9 = 56\%$

Mean average precision (mAP)



Mean average precision (mAP)
= precision zprůměrovaná přes všechny hodnoty recallu

v případě více tříd (detektor osob, koček, aut, ..., zároveň) se mAP uvádí jako průměr přes všechny třídy

Faster R-CNN vs R-FCN vs SSD

Přehled

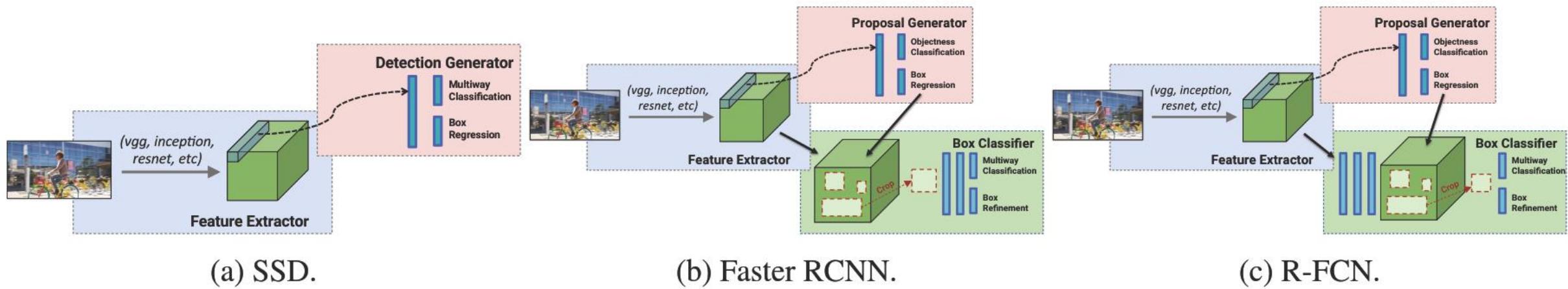


Figure 1: High level diagrams of the detection meta-architectures compared in this paper.

[Huang et al: Speed/accuracy trade-offs for modern convolutional object detectors](#)

Rychlost vs mAP

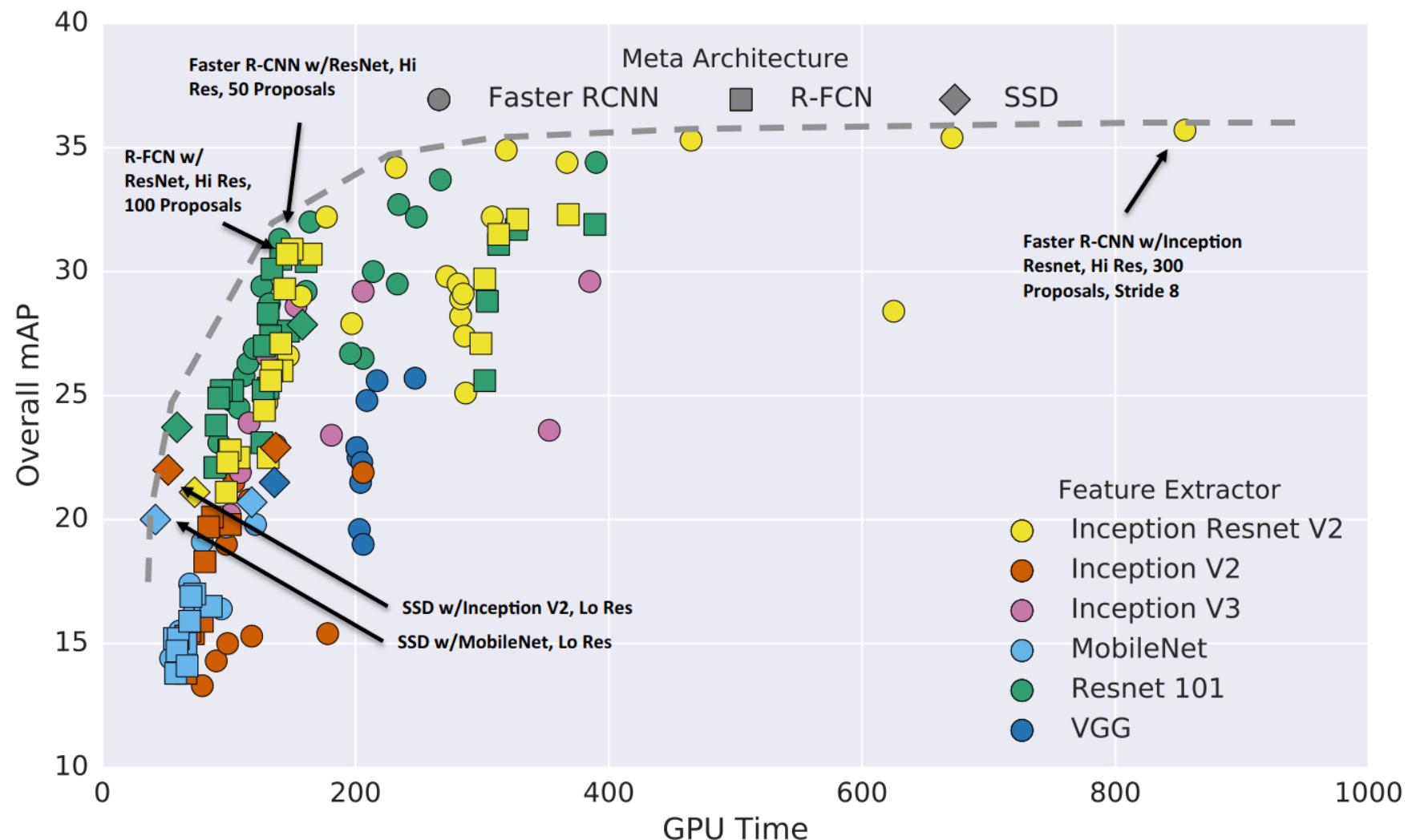


Figure 2: Accuracy vs time, with marker shapes indicating meta-architecture and colors indicating feature extractor. Each (meta-architecture, feature extractor) pair can correspond to multiple points on this plot due to changing input sizes, stride, etc.

mAP v závislosti na velikosti objektů

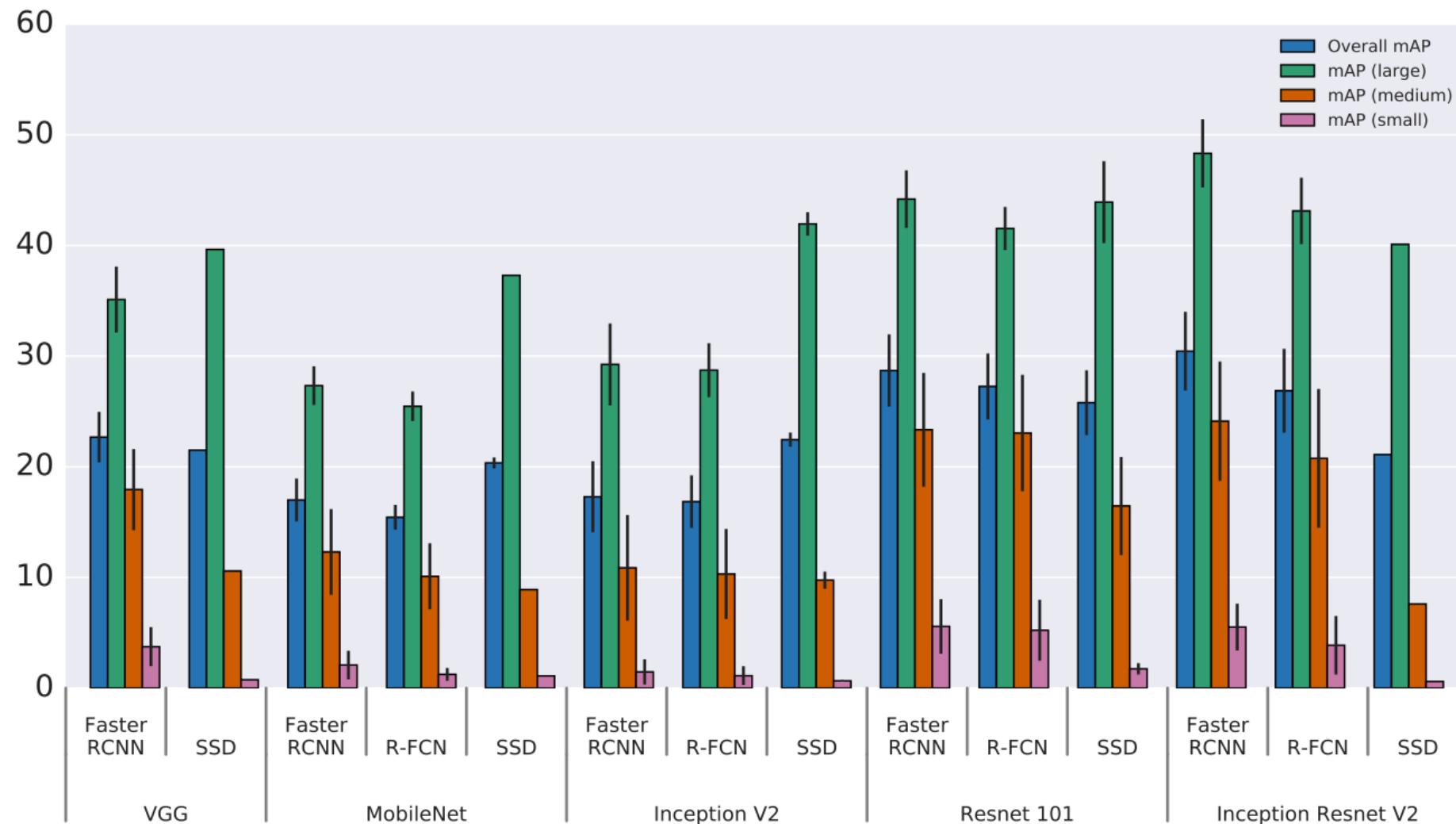


Figure 4: Accuracy stratified by object size, meta-architecture and feature extractor, We fix the image resolution to 300.

mAP v závislosti na počtu ROI

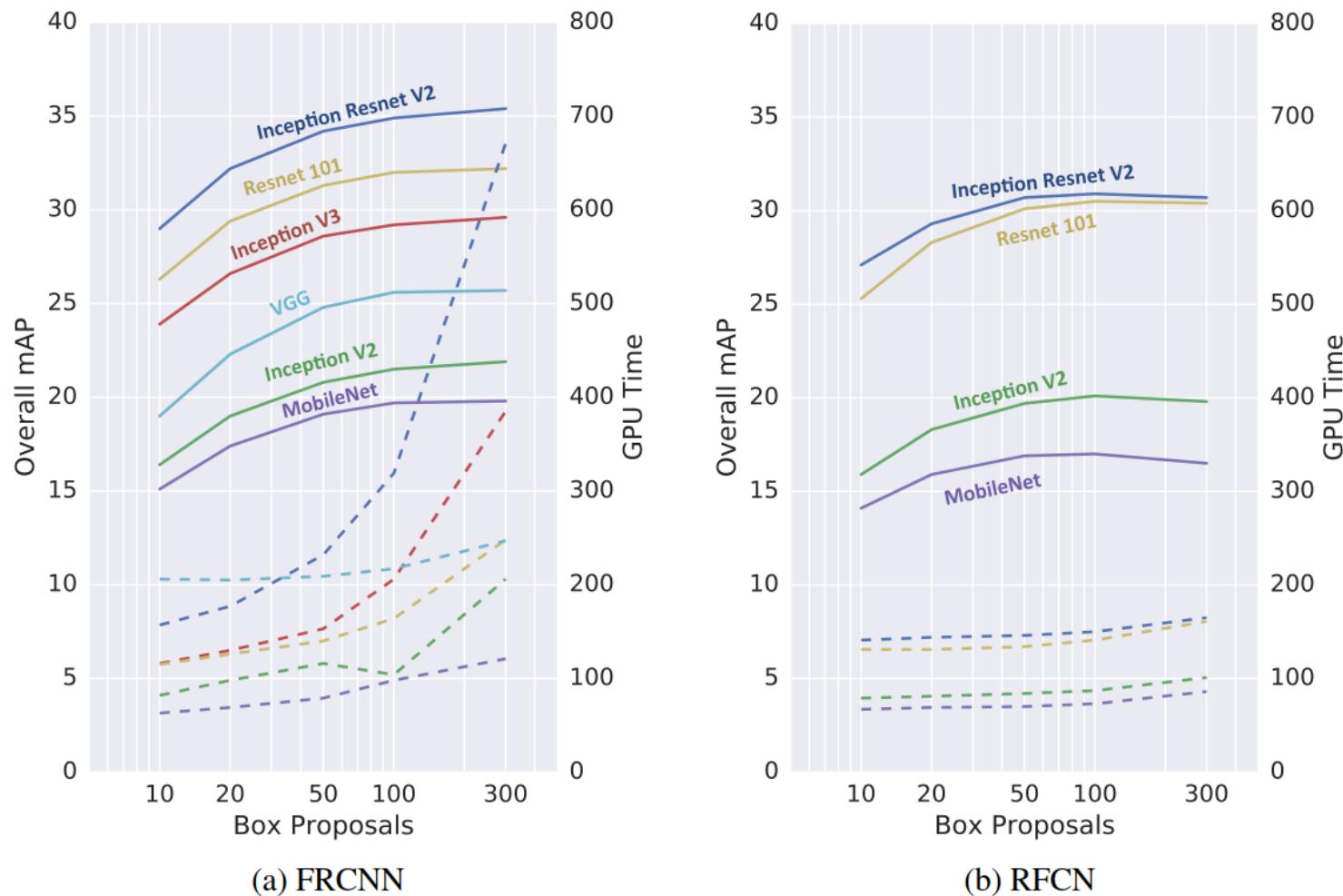


Figure 6: Effect of proposing increasing number of regions on mAP accuracy (solid lines) and GPU inference time (dotted). Surprisingly, for Faster R-CNN with Inception Resnet, we obtain 90% of the accuracy of using 300 proposals by using only 50 proposals, which reduces running time by a factor of 3.

Rychlosť pre konst. veľkosť obrázku

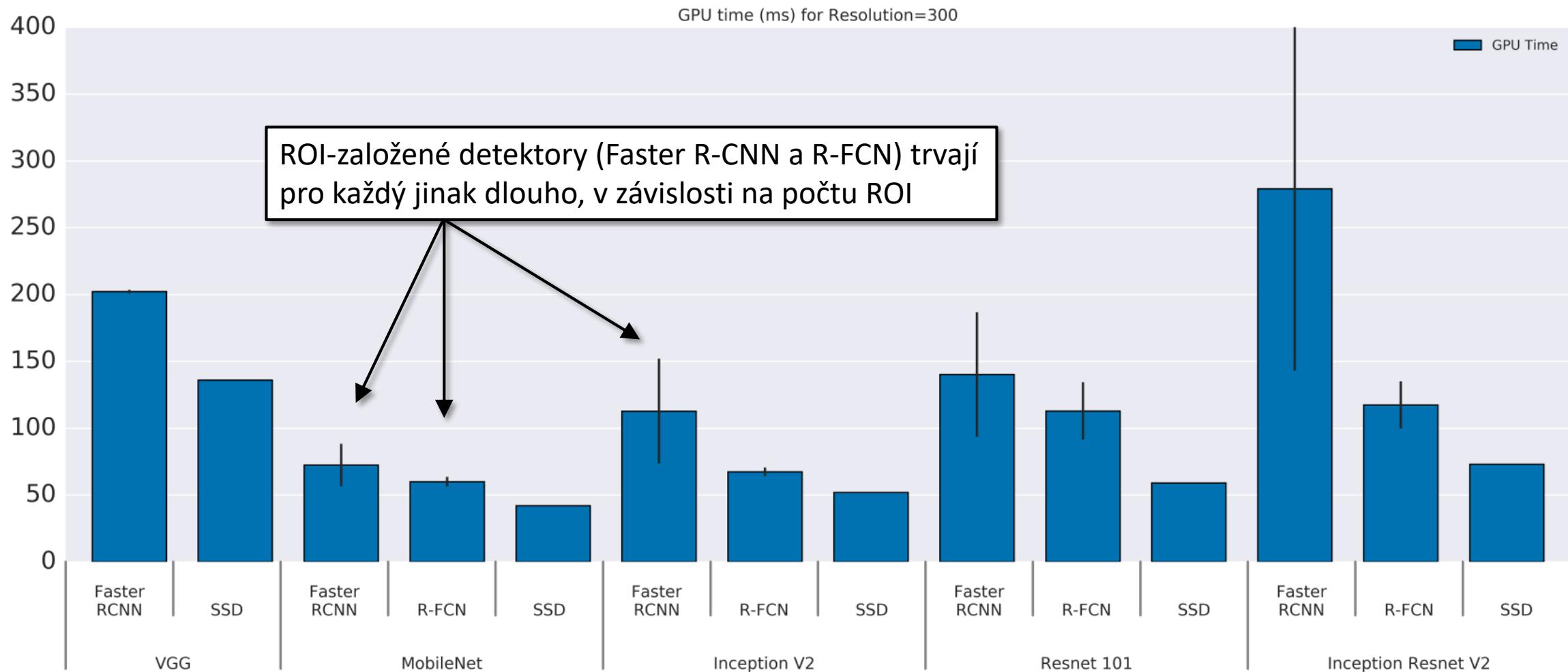


Figure 7: GPU time (milliseconds) for each model, for image resolution of 300.

Shrnutí

R-CNN	R-FCN	SSD
dvě fáze: 1. detekce ROI 2. jejich klasifikace	jediná fáze, něco mezi Faster R-CNN a SSD	vše v jednom průchodu, detekce jako regrese
přesné, pomalé	středně přesné a rychlé	nepřesné, rychlé
<u>příklady:</u> <ul style="list-style-type: none">• R-CNN = externí detektor ROI + oddělená klasifikace• Fast R-CNN = R-CNN + sdílená konvoluce• Faster R-CNN = Fast R-CNN + detektor (RPN) součástí sítě	<u>příklady:</u> <ul style="list-style-type: none">• R-FCN = Faster R-CNN, které má RPN až na vrchu sítě, plně konvoluční síť	<u>příklady:</u> <ul style="list-style-type: none">• YOLO: pro každou buňku predikce 2 anchor boxů• SSD = YOLO + více vrstev zahrnuto do predikce• YOLO v2 = YOLO + SSD + optimalizace• RetinaNet = focal loss