

Adatbányászat a Gyakorlatban

8. Előadás: Objektum detekció

Kuknyó Dániel
Budapesti Gazdasági Egyetem

2024/25
1.félév

1 Bevezetés

2 Objektum detekció

3 Tanítás

4 További architektúrák

1 Bevezetés

2 Objektum detekció

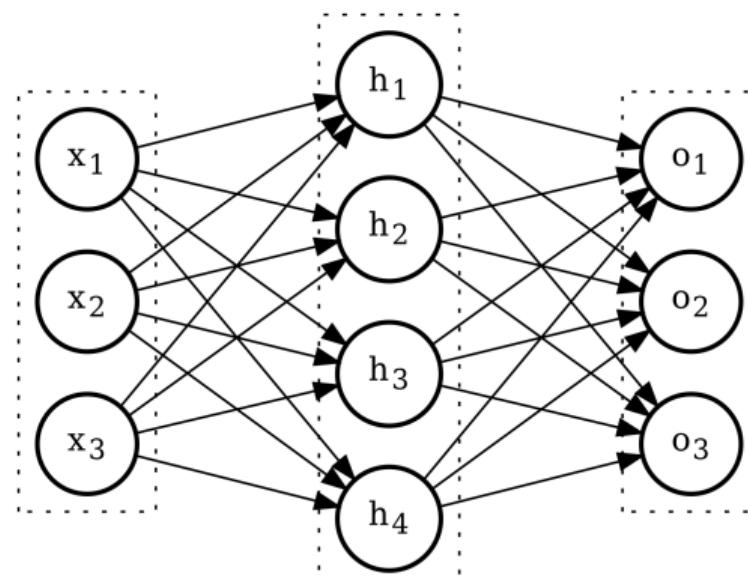
3 Tanítás

4 További architektúrák

Osztályozás

Osztályozás esetén a neurális hálózat output rétegében minden lehetséges osztályhoz egy neuron tartozik. A neuronok azt a valószínűségetbecsülik meg, hogy az adott mintaegyed mekkora valószínűsséggel esik a neuronhoz tartozó kategóriába.

Ez a softmax réteg, ahol az egyes neuronok aktivációs függvénye a softmax függvény. A softmax rétegen lévő neuronok outputjainak összege mindig 1.



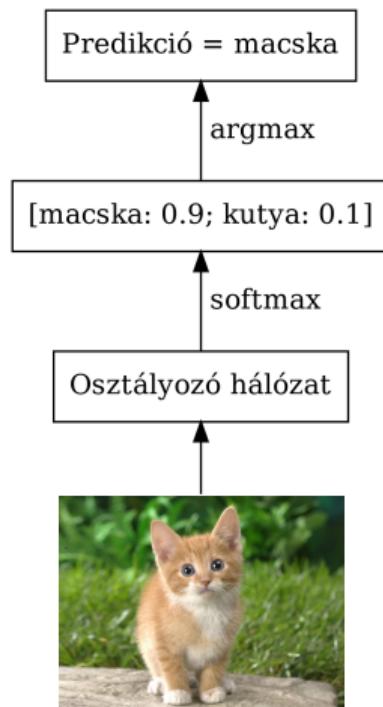
Predikció osztályozás esetén

A legegyszerűbb módja az osztályozásnak, ha a hálózat outputként **összesen egy címkét** ad outputként, ami a predikciója az input képre (vagy adatra) vonatkozóan.

Ebben az esetben a hálózat softmax rétege azt becsüli meg, hogy **mekkora valószínűséggel tartozik a mintaegyed a tanító osztályok valamelyikébe**. Például:

[macska : 0.9; kutya : 0.1]

Ezután az output úgy áll elő, hogy a hálózat **kiválasztja a legnagyobb valószínűségű osztályt** az *argmax* operátorral, majd visszaadja a legnagyobb valószínűséghez tartozó címkét.



Lokalizáció

Az objektum lokalizáció feladata az osztályozás egy speciális esete. A lokalizáció problémájában nem csak azt kell megbecsülnie a neurális hálózatnak, hogy milyen objektum található egy képen, hanem meg is kell adnia az **objektum pozícióját azzal, hogy megadja a kereteződobozának koordinátáit**.

Ebben az esetben a hálózat outputja nem csak egy címke, hanem a dobozt meghatározó négy koordináta is. Ezek a leggyakrabban:

- x : A doboz bal felső sarkának x koordinátája.
- y : A doboz bal felső sarkának y koordinátája.
- w : A doboz szélessége (width).
- h : A doboz magassága (height).

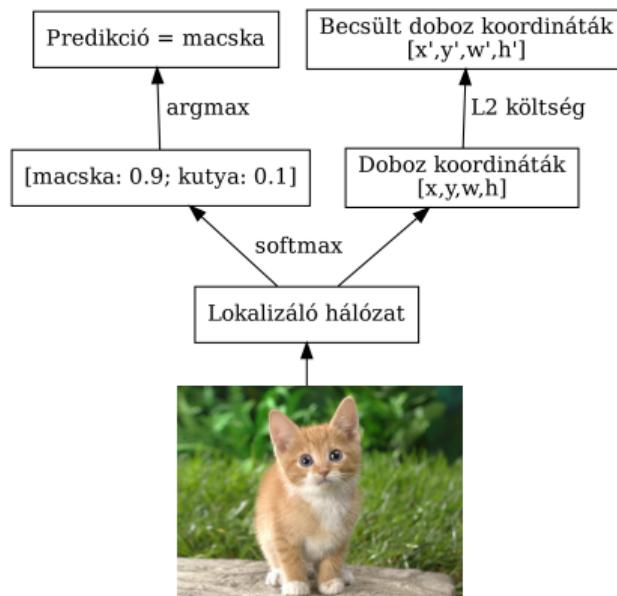


Predikció lokalizáció esetén

Lokalizáció esetén a neurális hálózat két részre ágazik, mivel két különböző feladatot kell elvégeznie:

Osztályozás: ez megegyezik az osztályozó hálózat által végzett feladattal. A hálózat megbecsül egy valószínűségeloszlást, majd ebből kiválasztja a legnagyobb valószínűséghez tartozó osztályt, amit visszaad mint predikció.

Kereteződoboz predikciók: a lokalizáció feladatához a neurális hálózatnak meg kell becsülnie az érdekelt régiók dobozainak koordinátáit. A neurális hálózat kiválasztja a becsült kereteződobozok közül azt, amelyik a **legnagyobb valószínűsséggel tartalmazza a keresett objektumot**.



1 Bevezetés

2 Objektum detekció

3 Tanítás

4 További architektúrák

Objektum detekció

Az objektum detekció a lokalizáció általánosítása több objektumra egyetlen képen belül. Ebben az esetben a neurális hálózat feladata **minden ismert objektum lokalizálása a képen.**

Ebben az esetben a hálózat outputja minden egyes ismert objektumra:

- Az objektum becsült címkéje.
- Az objektum kereteződobozának x, y, w, h koordinátái.

Mivel az érdekelt objektumok száma képenként eltérő lehet, az **objektum detekciós hálózatok outputjainak számosága is képenként különbözik!**



Kezdeti detektor implementáció

Az első objektum detektor modellek implementációi meglehetősen naívak voltak. Az eljárás szerint a modell végigcsúsztat egy előre meghatározott méretű ablakot a képen, és minden egyes általa meghatározott képről eldönti, hogy háttér-e (*bgr*) vagy valamelyik keresett osztályba tartozik-e:

$$output = [bgr : 0.8, kutya : 0.1, macska : 0.1]$$

Ebben az esetben $\hat{y} = \underset{p}{\operatorname{argmax}}(output) = bgr$, és az algoritmus eldobja a kereteződoboz predikcióját.



Kezdeti detektor implementáció

Az első objektum detektor modellek implementációi meglehetősen naívak voltak. Az eljárás szerint a modell végigcsúsztat egy előre meghatározott méretű ablakot a képen, és minden egyes általa meghatározott képről eldönti, hogy háttér-e (*bgr*) vagy valamelyik keresett osztályba tartozik-e:

$$\text{output} = [\text{bgr} : 0.0, \text{kutya} : 0.01, \text{macska} : 0.99]$$

Ebben az esetben $\hat{y} = \underset{p}{\text{argmax}}(\text{output}) = \text{macska}$, és a becsült kereteződoboz az, ahol a legnagyobb a keresett osztály valószínűsége.



Miért nem lehetséges ez az implementáció?

Hány lehetséges kereteződoboz van egy $H \cdot W$ méretű képen?

Ha van egy $h \cdot w$ méretű kereteződoboz a lehetséges x koordináták száma $W - w + 1$, és a lehetséges y koordináták száma $H - h + 1$. A lehetséges megoldások száma egyetlen kereteződoboz méretre: $(W - w + 1) \cdot (H - h + 1)$.

Az összes lehetséges kereteződoboz méretre pedig:

$$\sum_{h=1}^H \sum_{w=1}^W (W - w + 1) \cdot (H - h + 1) = \frac{H(H+1)}{2} \frac{W(W+1)}{2}$$

Ez azt jelenti, hogy egy $800 \cdot 600$ méretű képre ~ 58 millió lehetséges kereteződoboz létezik.

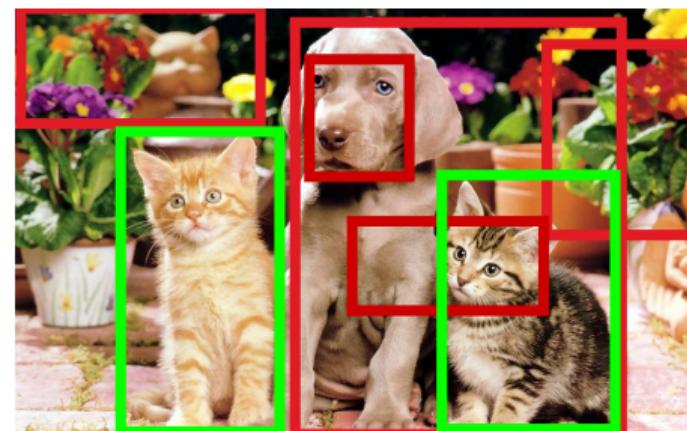


Területi javaslatok

Az eljárás ami meggyorsította a folyamatot a területi javaslatok algoritmusa volt.

Ahelyett, hogy egy előre meghatározott méretű ablakot csúsztatna végig egy képen, a területi javaslatok algoritmusa megpróbálja a kép **pixeleit klaszterezni hasonlóság szerint**, ezzel területeket formázva.

Később ezen területeknek a kereteződobozai lesznek átadva egy osztályozó neurális hálózatnak ami eldönti, hogy a keresett objektumok valamelyike mekkora valószínűsséggel található meg a területen.



Területi javaslatok szelektív kereséssel

A szelektív keresés egy potenciális objektum területeket javasoló algoritmus, ami jóval hatékonyabban képes működni, mint a csúszóablakos algoritmus:

- ❶ **Kép szegmentálása:** Az input kép pixeleinek csoportosítása szín, textúra és egyéb vizuális tulajdonságok szerint.
- ❷ **Régiók hasonlósága:** A különböző régiók összeolvasztása valamilyen hasonlósági mérték szerint.
- ❸ **Hierarchikus csoportosítás:** Az összeolvasztott régiók hierarchikus klaszterezése.
- ❹ **Objektum javaslatok:** Objektum javaslatok halmazának elkészítése, amik területi javaslatként szolgálnak.
- ❺ **Objektum detekció:** A területi javaslatok átadódnak a neurális hálózatnak osztályozásra.



Területi javaslatok szelektív kereséssel

A szelektív keresés egy potenciális objektum területeket javasoló algoritmus, ami jóval hatékonyabban képes működni, mint a csúszóablakos algoritmus:

- 1 Kép szegmentálása:** Az input kép pixeleinek csoportosítása szín, textúra és egyéb vizuális tulajdonságok szerint.
- 2 Régiók hasonlósága:** A különböző régiók összeolvasztása valamilyen hasonlósági mérték szerint.
- 3 Hierarchikus csoportosítás:** Az összeolvasztott régiók hierarchikus klaszterezése.
- 4 Objektum javaslatok:** Objektum javaslatok halmazának elkészítése, amik területi javaslatként szolgálnak.
- 5 Objektum detekció:** A területi javaslatok átadódnak a neurális hálózatnak osztályozásra.



Területi javaslatok szelektív kereséssel

A szelektív keresés egy potenciális objektum területeket javasoló algoritmus, ami jóval hatékonyabban képes működni, mint a csúszóablakos algoritmus:

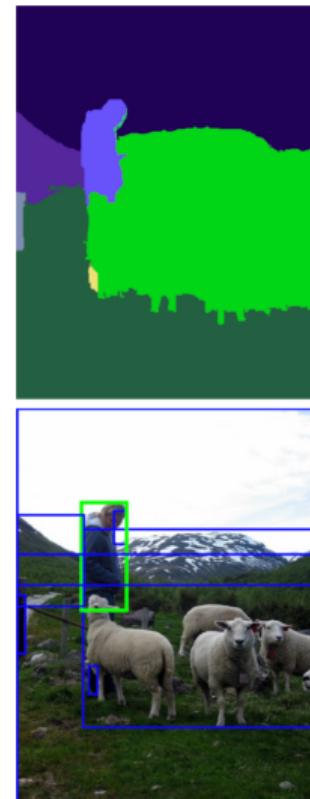
- 1 Kép szegmentálása:** Az input kép pixeleinek csoportosítása szín, textúra és egyéb vizuális tulajdonságok szerint.
- 2 Régiók hasonlósága:** A különböző régiók összeolvasztása valamilyen hasonlósági mérték szerint.
- 3 Hierarchikus csoportosítás:** Az összeolvasztott régiók hierarchikus klaszterezése.
- 4 Objektum javaslatok:** Objektum javaslatok halmazának elkészítése, amik területi javaslatként szolgálnak.
- 5 Objektum detekció:** A területi javaslatok átadódnak a neurális hálózatnak osztályozásra.



Területi javaslatok szelektív kereséssel

A szelektív keresés egy potenciális objektum területeket javasoló algoritmus, ami jóval hatékonyabban képes működni, mint a csúszóablakos algoritmus:

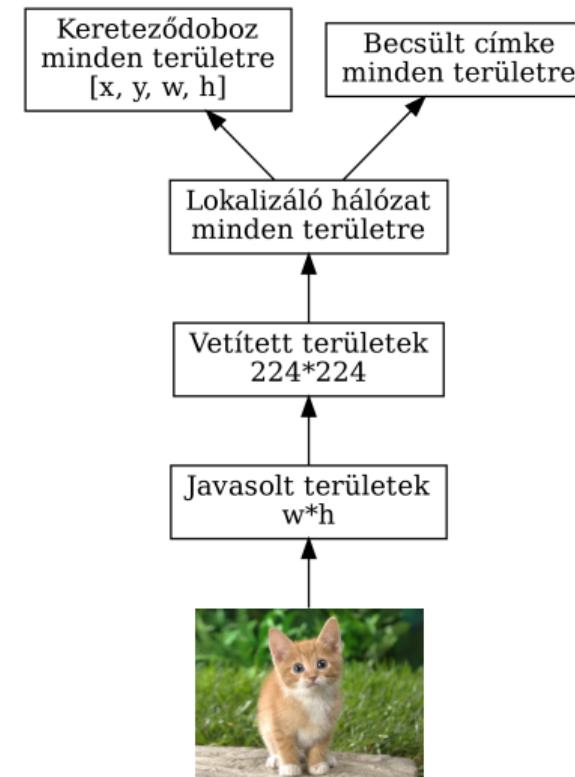
- 1 Kép szegmentálása:** Az input kép pixeleinek csoportosítása szín, textúra és egyéb vizuális tulajdonságok szerint.
- 2 Régiók hasonlósága:** A különböző régiók összeolvasztása valamilyen hasonlósági mérték szerint.
- 3 Hierarchikus csoportosítás:** Az összeolvasztott régiók hierarchikus klaszterezése.
- 4 Objektum javaslatok:** Objektum javaslatok halmazának elkészítése, amik területi javaslatként szolgálnak.
- 5 Objektum detekció:** A területi javaslatok átadódnak a neurális hálózatnak osztályozásra.



R-CNN architektúra objektum detekcióra

Az objektum detekció folyamata területjavasolással:

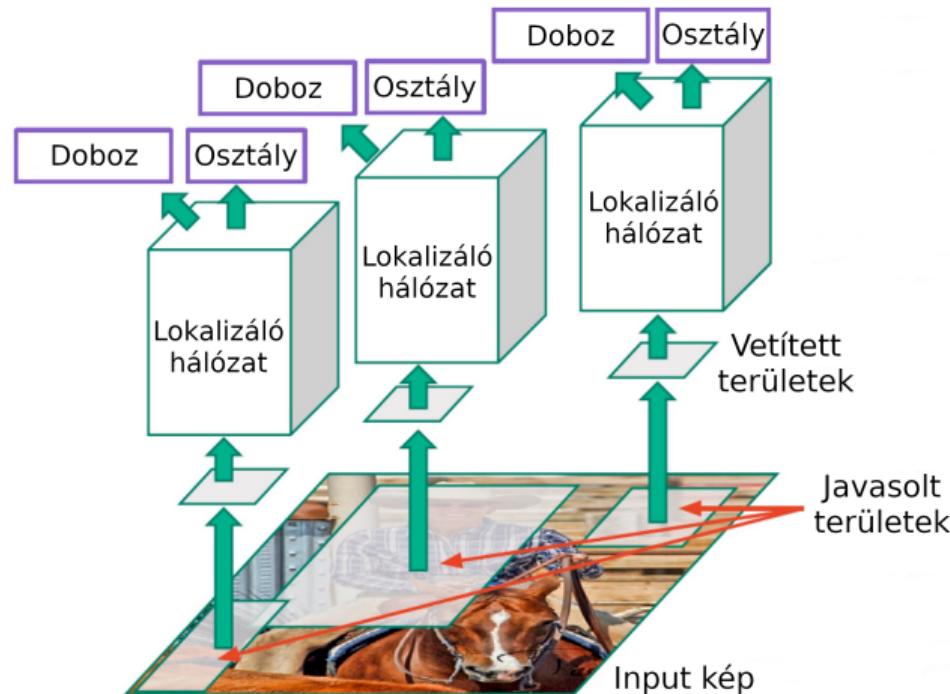
- ① A területjavasoló **kiválaszt érdekelt régiókat** a képről. Ezek lehetnek bármekkora méretűek.
- ② A javasolt régiók **fix méretűre vetítése**. Ez leggyakrabban $224 \cdot 224$ a gyors osztályozás miatt.
- ③ A lokalizációs hálózat **megbecsüli az osztályokat** és a **kereteződobozok koordinátáit** a vetített terület alapján.



R-CNN architektúra objektum detekcióra

Az objektum detekció folyamata területjavasolással:

- 1 A területjavasoló **kiválaszt** érdekelt **régiókat** a képről. Ezek lehetnek bármekkkora méretűek.
- 2 A javasolt régiók **fix** méretűre **vetítése**. Ez leggyakrabban $224 \cdot 224$ a gyors osztályozás miatt.
- 3 A lokalizációs hálózat **megbecsüli** az **osztályokat** és a **kereteződobozok koordinátáit** a vetített terület alapján.



1 Bevezetés

2 Objektum detekció

3 Tanítás

4 További architektúrák

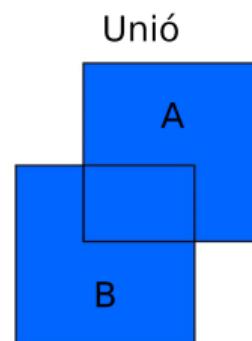
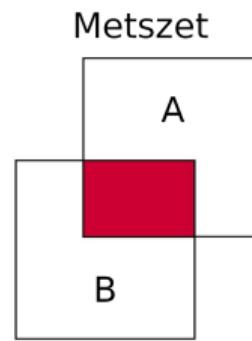
Pontosság mérése kereteződobozokkal

Mivel az objektum detekció egy felügyelt tanulási algoritmus, **szüksége van címkékre**. Ebben az esetben a címkék a valós osztályt és a kereteződoboz x, y, w, h koordinátáit tartalmazzák.

A jóságfüggvény A valós és B becsült kereteződoboz koordinátáit hasonlítja össze az IoU (metszet/unió) mérőszámmal:

$$IoU = \frac{A \cap B}{A \cup B}$$

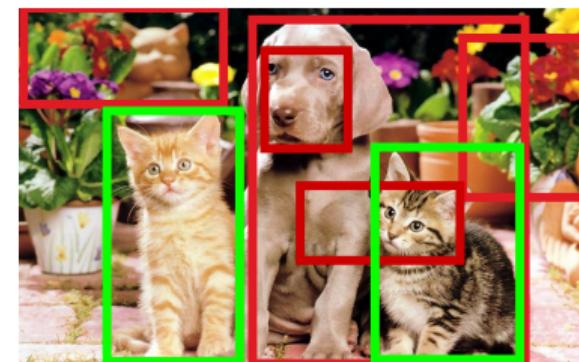
Tehát minél jobban illeszkedik a becsült doboz a valósra, annál közelebb van a mérőszám 1-hez. Ha a két doboznak nincs közös területe, $IoU = 0$.



Objektum detekció kiértékelése

A pontosság és visszatérés mérhető objektum detekció esetén is. A **TP**, **FP** és **FN** osztályozás viszont csak specifikusan értelmezhető:

- **TP** (valós pozitív): a becsült osztály megegyezik a valóssal, és $IoU > 50\%$.
- **FP** (hamis pozitív): a becsült osztály nem egyezik meg a valóssal vagy $IoU < 50\%$.
- **FN** (hamis negatív): olyan valós kereteződoboz, amelyikhez nem tartozik predikció.
- **TN** (hamis negatív): nem értelmezett objektum detekció esetén.



Az objektum detekció mérőszámai

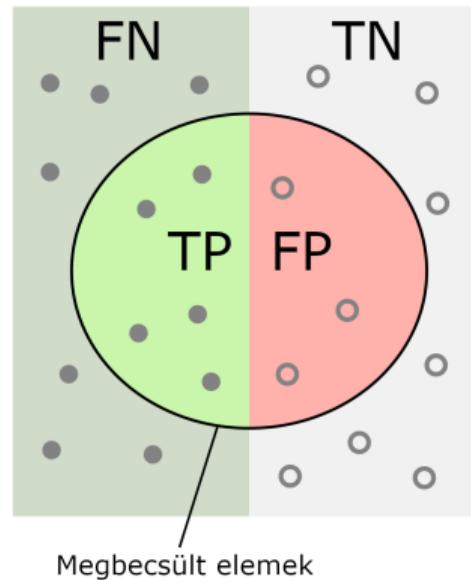
A detekció pontosságának két fontos mutatója:

- **Pontosság:** A megbecsült elemek közül hány volt valós pozitív?

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

- **Visszahívás:** A valós pozitívak közül hány elem lett megbecsülve?

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



$$\text{Pontosság} = \frac{\text{TP}}{\text{TP} + \text{FP}}$$

$$\text{Visszahívás} = \frac{\text{TP}}{\text{TP} + \text{FN}}$$

Átlagos pontosság

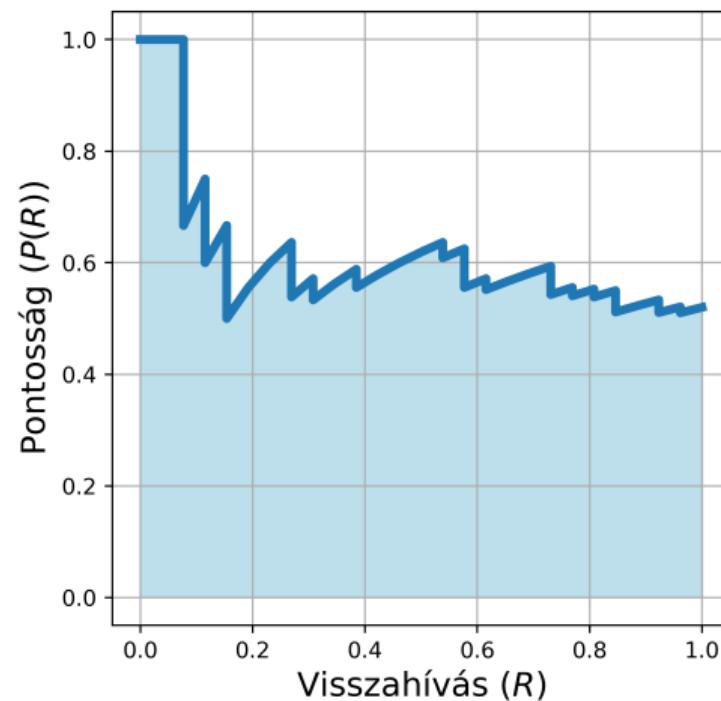
Az átlagos pontosság a pontosság-visszahívás görbe alatti terület.

Átlagos pontosság (AP)

Az átlagos pontosság a pontossági értékek súlyozott átlaga minden pontossági küszöbértéken kiértékelve:

$$AP = \frac{1}{n} \sum_{R=0}^1 P(R)$$

Ahol n a mintavételi gyakoriság, $P(\cdot)$ a pontosság és R a visszahívás értéke. Az R küszöbérték n db értéket vesz fel 0 és 1 között.



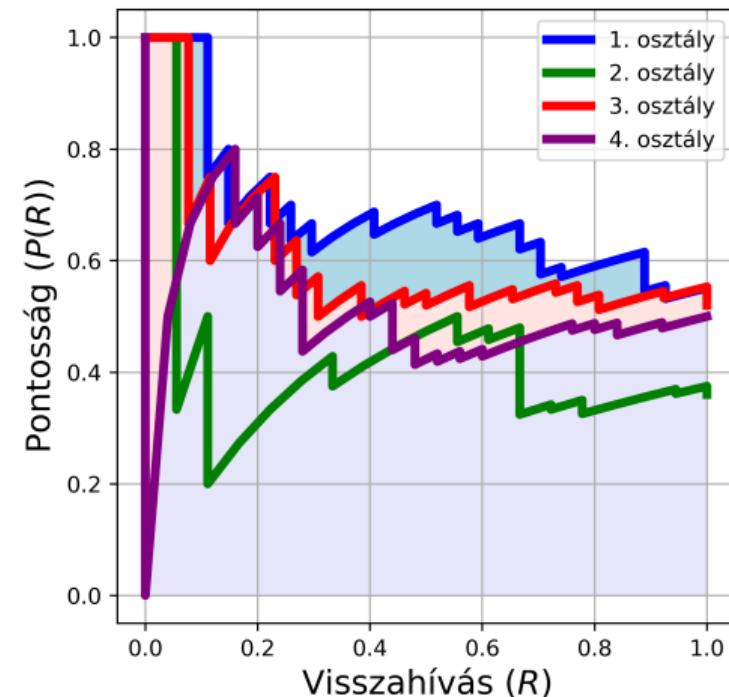
Közepes átlagos pontosság

Közepes átlagos pontosság (mAP)

A közepes átlagos pontosság az összes osztályra kiszámított átlagos pontosságok átlaga:

$$mAp = \frac{1}{N} \sum_{i=0}^{N-1} AP_i = \frac{1}{N} \sum_{i=0}^{N-1} \frac{1}{n} \sum_{R=0}^1 P_i(R)$$

Ahol N az osztályok számossága, n a lépésekbenkénti mintavételek száma, AP_i az átlagos pontosság az i . osztályra.

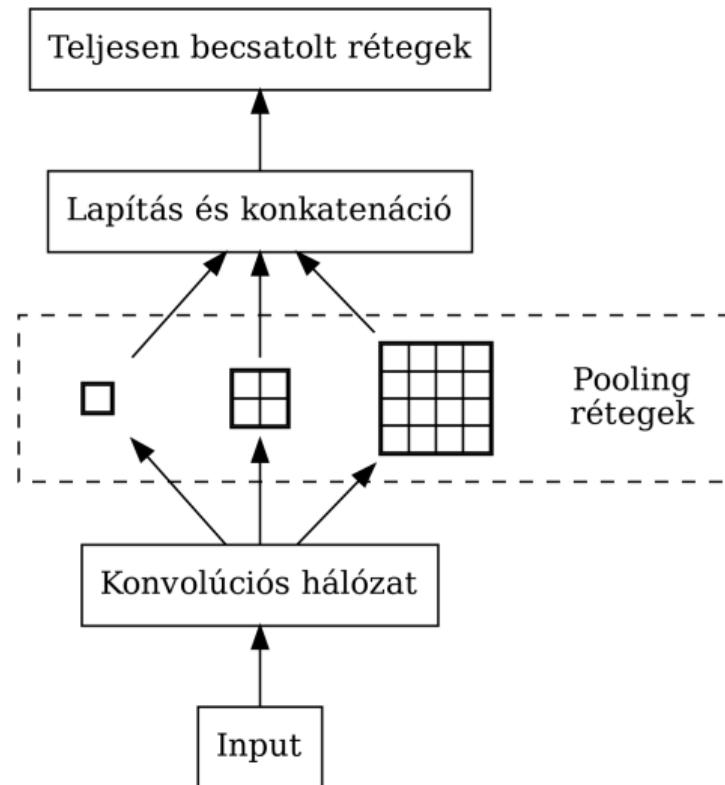


Térbeli piramis lazítás

Térbeli piramis pooling (SPP) réteg az inputot több, különböző méretű max pooling réteggel dolgozza fel. Például ha érkezik egy konvolúciós rétegből valamilyen aktiváció feldolgozza egy $1 \cdot 1$, $2 \cdot 2$ és $4 \cdot 4$ max pooling szűrővel is.

Ha a piramis pooling réteg után egy teljesen becsatolt réteg következik, a különböző pooling rétegek által adott outputot kilapítja, konkatenálja majd úgy adja tovább a következő rétegek.

Lapítás során az input mátrixból 1 dimenziós vektor lesz. Pl. $4 \cdot 4 \rightarrow 16 \cdot 1$.



1 Bevezetés

2 Objektum detekció

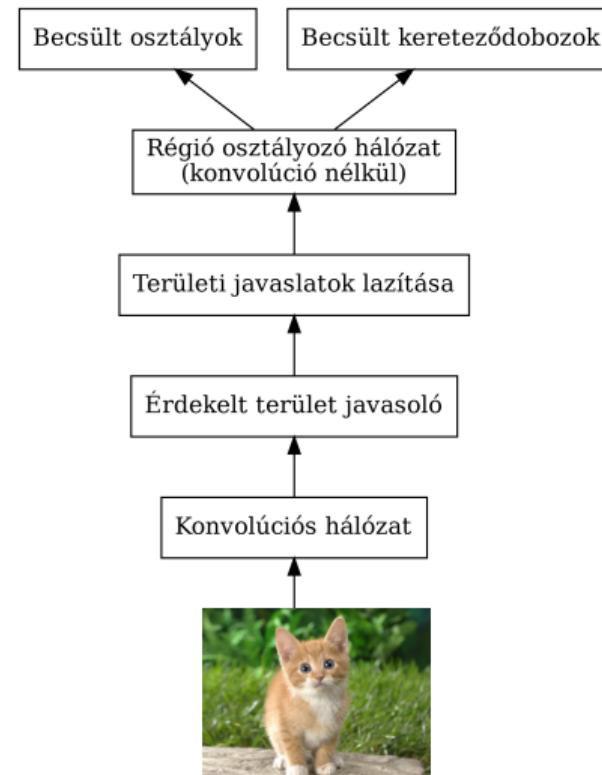
3 Tanítás

4 További architektúrák

Fast R-CNN

Az eredeti R-CNN architektúra nagyon lassan futott, hiszen a sok műveletet igénylő konvolúciós szűrés minden javasolt érdekelt területre lefutott.

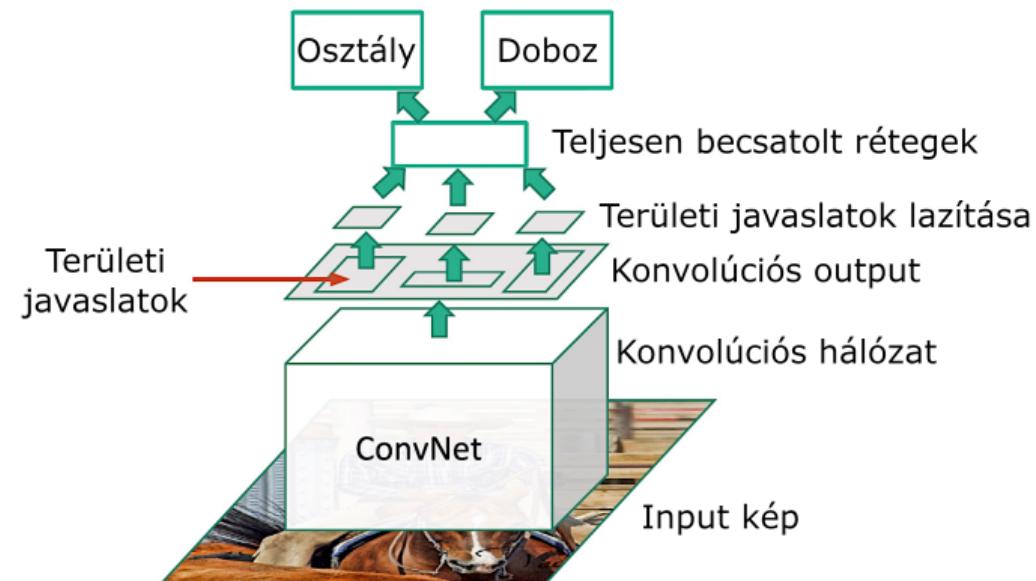
A Fast-RCNN az eredeti architektúrát úgy módosítja, hogy először a konvolúciós rétegeken áramoltatja át az input adatot, majd a konvolúciós rétegek outputján keresi meg az érdekelt területeket, amiket vetít és beosztályoz a régióalapú hálózattal.



Fast R-CNN

Az eredeti R-CNN architektúra nagyon lassan futott, hiszen a sok műveletet igénylő konvolúciós szűrés minden javasolt érdekelt területre lefutott.

A Fast-RCNN az eredeti architektúrát úgy módosítja, hogy először a konvolúciós rétegeken áramoltatja át az input adatot, majd a konvolúciós rétegek outputján keresi meg az érdekelt területeket, amiket vetít és beosztályoz a régióalapú hálózattal.

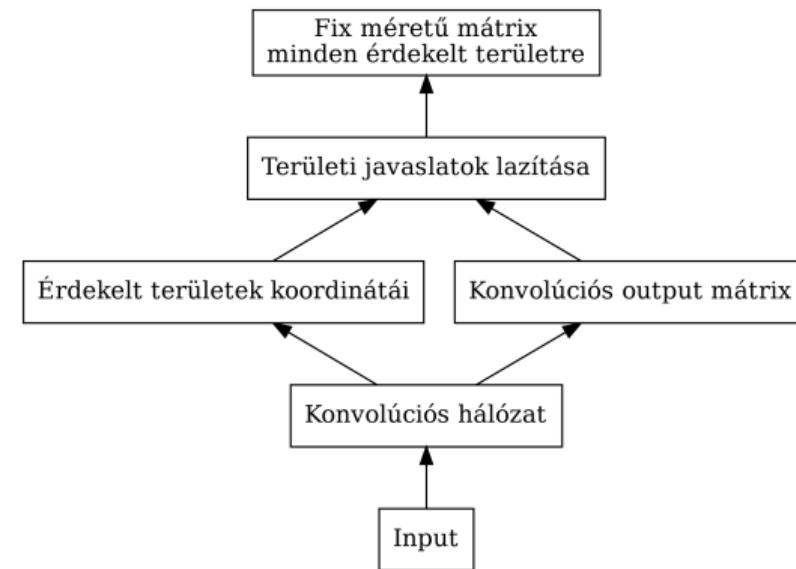


Területi javaslatok lazítása (Rol pooling, Rol lazítás)

A területenkénti konvolúciós hálózatok **fix méretű inputot** várnak a korábbi rétegektől, viszont a területi javaslatok eltérő méretűek.

Ebből adódóan szükség van a területi javaslatok átméretezésére. A területi javaslat lazító réteg feladata **fix méretű mátrixokká transzformálni** a bemeneti mátrixokat.

Például egy Rol pooling réteg kimenete bármilyen méretű mátrixra lehet $224 \cdot 224$.



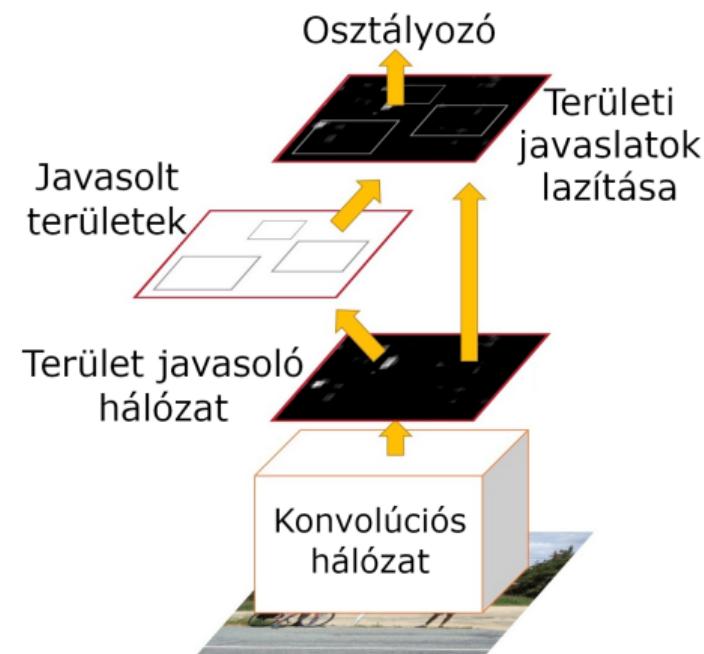
Faster R-CNN

A Faster R-CNN architektúra a **területi javaslatokat egy neurális hálózat segítségével állítja elő (RPN)**.

Ebben az esetben a területjavasoló hálózatnak már **tanítható súlyai** vannak. A teljes hálózatot 4 különböző költséggel tanítódik.

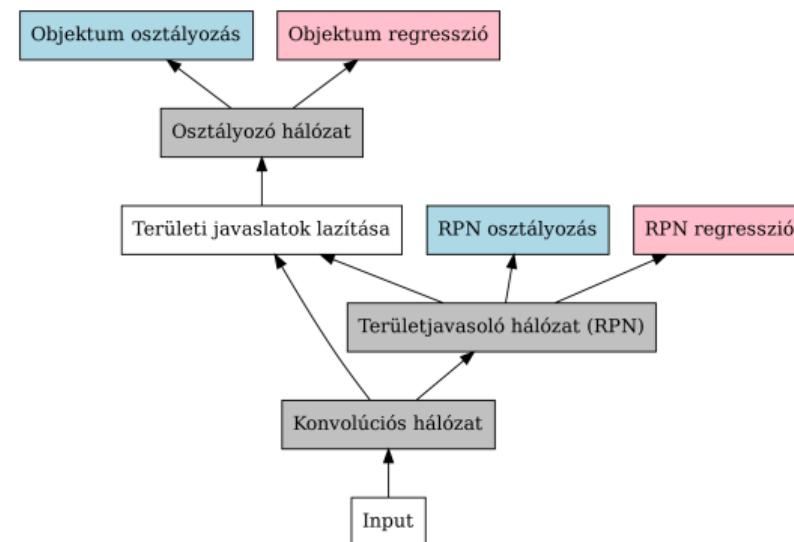
A Faster R-CNN egy kétlépéses objektum detektor:

- ➊ **1. fázis:** Képenként egyszeri futtatással lefut a gerinc hálózat és a területjavasoló hálózat.
- ➋ **2. fázis:** Régióenként egyszeri futtatással



Faster R-CNN

- **RPN osztályozás:** A kereteződoboz objektum / nem objektum?
- **RPN regresszió:** A javasolt doboz és a kereteződoboz közötti transzformáció megbecslése.
- **Objektum osztályozás:** A javaslatok osztályának megbecslése.
- **Objektum regresszió:** A javasolt doboz és objektum doboz közötti transzformáció megbecslése.

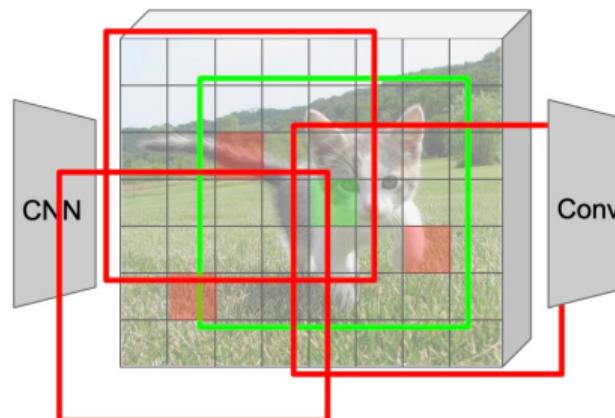


Területjavasoló hálózat (RPN) - Osztályozás

A területjavasoló hálózat minden képpont körül egy rögzített méretű dobozt hoz létre, amiről eldönti, hogy **objektum-e** (bináris osztályozás).



Input kép



Képi jellemzők

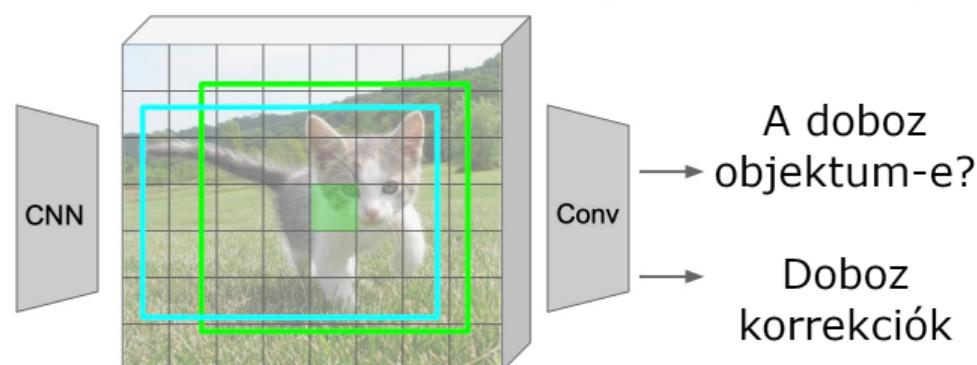
Minden
dobozról
eldöntení,
hogy
objektum-e

Területjavasoló hálózat (RPN) - Osztályozás

Minden, az előző lépésben pozitívan osztályozott kereteződobozra a területjavasoló hálózat egy **korrekciót generál**, ami **módosíthat az eredeti kereteződoboz koordinátáin**, hogy jobban illeszkedjen a dobozban megtalálható objektumra.



Input kép



Képi jellemzők

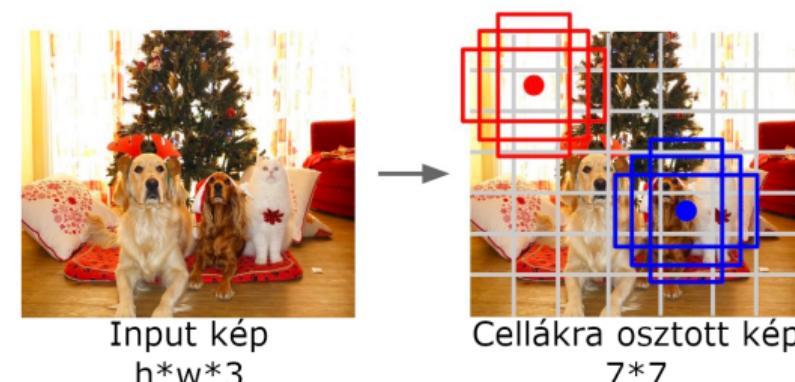
A doboz
→ objektum-e?
Doboz
→ korrekciók

Egylépéses detekció - YOLO architektúra

A YOLO (You Only Look Once) architektúra egy népszerű objektum detektor konfiguráció.

Ebben az esetben a hálózat az input képet **felosztja egy $n \cdot n$ db cellából álló hálóra**. minden cellához hozzárendel B db **alapdobozt**, amelynek középpontja a cella közepe.

Minden cellára a hálóban megbecsül a B db alapdobozból 5 értéket: $[dx, dy, dh, dw, p]$ ahol az első 4 érték az eltolást jelenti x, y, w, h dimenziók mentén, p pedig a softmax aktiváció minden osztályra, beleértve a háttérét is.



A YOLO hálózat outputja ebben az esetben $7 \cdot 7 \cdot (5 \cdot B + C)$, ahol C a lehetséges osztályok száma.