

Sveučilište u Zagrebu  
Fakultet elektrotehnike i računarstva

# Diplomski seminar

## Očitavanje rukom pisanih slova

Filip Gulan

Zagreb, svibanj 2017.

- 1 Uvod
- 2 Pretprocesiranje slike
  - Binarizacija
  - Segmentacija i skaliranje slova
- 3 Konvolucijske neuronske mreže
  - Konvolucijski sloj
  - Sloj sažimanja
- 4 Skup podataka
- 5 Učenje i rezultati
  - Arhitektura
  - Učenje
  - Rezultati

- Sustav za prepoznavanje rukom pisanih slova.
- Uporaba: automatsko ispravljanje obrazaca s odgovorima na ispitu.
- Prikupljanje skupa podataka - obrasci.
- Obrada pojedinog slova
- Klasifikacija: konvolucijska neuronska mreža.

- Crno-bijela slika.

- Crno-bijela slika.
- Dva razreda slikovnih elemenata: prednji plan ili objekt te pozadina.

- Crno-bijela slika.
- Dva razreda slikovnih elemenata: prednji plan ili objekt te pozadina.
- Prag binarizacije.

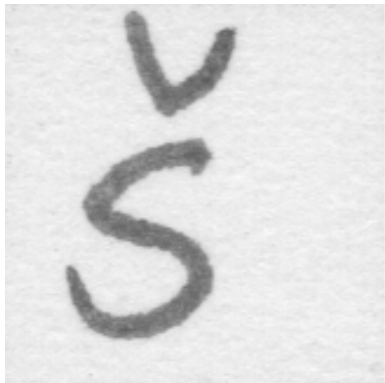
- Crno-bijela slika.
- Dva razreda slikovnih elemenata: prednji plan ili objekt te pozadina.
- Prag binarizacije.
- Izbjegavanje ovisnosti o konstantnom pragu - Otsuova metoda.

- Crno-bijela slika.
- Dva razreda slikovnih elemenata: prednji plan ili objekt te pozadina.
- Prag binarizacije.
- Izbjegavanje ovisnosti o konstantnom pragu - Otsuova metoda.
- Izračun histograma slike.



# Binarizacija

Prikaz rada algoritma



- Binarna slika, iznimno lako pronaći pravokutni okvir slova.

# Segmentacija i skaliranje slova

- Binarna slika, iznimno lako pronaći pravokutni okvir slova.
- Pronalazak najbližeg i najdaljeg crnog slikovnog elementa po visini i širini slike.

- Binarna slika, iznimno lako pronaći pravokutni okvir slova.
- Pronalazak najbližeg i najdaljeg crnog slikovnog elementa po visini i širini slike.
- Skaliranje na uniformne dimenzije ( $30 \times 30$ ) - olakšano izlučivanje značajki.

- Binarna slika, iznimno lako pronaći pravokutni okvir slova.
- Pronalazak najbližeg i najdaljeg crnog slikovnog elementa po visini i širini slike.
- Skaliranje na uniformne dimenzije ( $30 \times 30$ ) - olakšano izlučivanje značajki.
- Metode skaliranja:
  - bilinearna interpolacija,
  - bikubična interpolacija,
  - metoda najbližeg susjeda - korištena,
  - ...

# Segmentacija i skaliranje slova

## Prikaz rada algoritma



# Konvolucijske neuronske mreže

- Nadogradnja nad višeslojnim unaprijednim neuronskim mrežama.

# Konvolucijske neuronske mreže

- Nadogradnja nad višeslojnim unaprijednim neuronskim mrežama.
- Prilagođene za rad sa slikama.

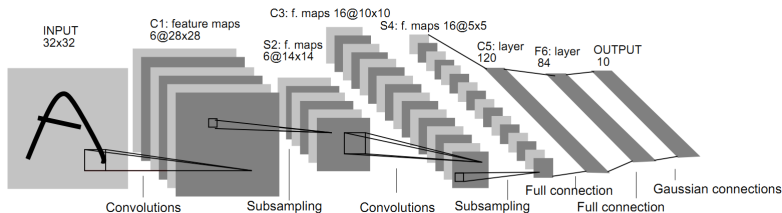


# Konvolucijske neuronske mreže

- Nadogradnja nad višeslojnim unaprijednim neuronskim mrežama.
- Prilagođene za rad sa slikama.
- Slojevi:
  - Konvolucijski sloj
  - Sloj sažimanja
  - Potpuno povezani sloj

# Konvolucijske neuronske mreže

- Nadogradnja nad višeslojnim unaprijednim neuronskim mrežama.
- Prilagođene za rad sa slikama.
- Slojevi:
  - Konvolucijski sloj
  - Sloj sažimanja
  - Potpuno povezani sloj



**Slika:** Konvolucijska neuronska mreža *LeNet-5*, preuzeto iz *Gradient-based learning applied to document recognition*, Y. LeCun

- Jezgra funkcionalnosti konvolucijske neuronske mreže.

- Jezgra funkcionalnosti konvolucijske neuronske mreže.
- Sastoji se od više filtra.

- Jezgra funkcionalnosti konvolucijske neuronske mreže.
- Sastoji se od više filtra.
- Filtar:
  - Prostorna matrica dimenzija  $w \times h \times d$
  - Težine - uče se

- Jezgra funkcionalnosti konvolucijske neuronske mreže.
- Sastoji se od više filtra.
- Filtar:
  - Prostorna matrica dimenzija  $w \times h \times d$
  - Težine - uče se
- Konvoluiranje filtra.

- Jezgra funkcionalnosti konvolucijske neuronske mreže.
- Sastoji se od više filtra.
- Filtar:
  - Prostorna matrica dimenzija  $w \times h \times d$
  - Težine - uče se
- Konvoluiranje filtra.
- Izlaz - niz aktivacijskih mapa (odziva filtra).

- Jezgra funkcionalnosti konvolucijske neuronske mreže.
- Sastoji se od više filtra.
- Filtar:
  - Prostorna matrica dimenzija  $w \times h \times d$
  - Težine - uče se
- Konvoluiranje filtra.
- Izlaz - niz aktivacijskih mapa (odziva filtra).
- Hiperparametri - broj filtra, veličina filtra, korak pomaka filtra.



- Cilj: smanjenje prostornih dimenzija ulaza - aktivacijskih mapa.

# Sloj sažimanja

- Cilj: smanjenje prostornih dimenzija ulaza - aktivacijskih mapa.
- Nakon jednog ili više konvolucijskih slojeva.

# Sloj sažimanja

- Cilj: smanjenje prostornih dimenzija ulaza - aktivacijskih mapa.
- Nakon jednog ili više konvolucijskih slojeva.
- Vrste:
  - Sažimanje srednjom vrijednosti
  - Sažimanje maksimalnom vrijednosti
  - Sažimanje L2 normom
  - Sažimanje težinskim usrednjavanjem

2	3	1	3
2	4	2	1
0	5	1	2
2	1	2	1

4	3
5	2

- 16 000 slika slova hrvatske i engleske abecede.

- 16 000 slika slova hrvatske i engleske abecede.
- 7 750 slika velikih slova, 7 750 slika malih slova, 500 slika znaka "-".

- 16 000 slika slova hrvatske i engleske abecede.
- 7 750 slika velikih slova, 7 750 slika malih slova, 500 slika znaka "-".
- Podjela:
  - Skup za učenje - 12 000
  - Skup za provjeru - 4000
  - Skup za testiranje - 1000

# Skup podataka

- 16 000 slika slova hrvatske i engleske abecede.
- 7 750 slika velikih slova, 7 750 slika malih slova, 500 slika znaka "-".
- Podjela:
  - Skup za učenje - 12 000
  - Skup za provjeru - 4000
  - Skup za testiranje - 1000
- Crno-bijele slike -  $30 \times 30$ .



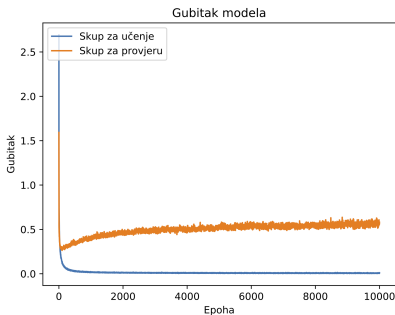
- Konvolucijski sloj: 32 filtra -  $3 \times 3$ , korak pomaka - 1, *ReLU*.
- Sloj sažimanja maksimalnom vrijednosti -  $2 \times 2$ .
- Konvolucijski sloj: 64 filtra -  $3 \times 3$ , korak pomaka - 1, *ReLU*.
- Sloj sažimanja maksimalnom vrijednosti -  $2 \times 2$ .
- Potpuno povezani sloj - 128 neurona, *ReLU*.
- Potpuno povezani sloj - 128 neurona, *ReLU*.
- Izlazni sloj - 32 neurona, *softmax*.



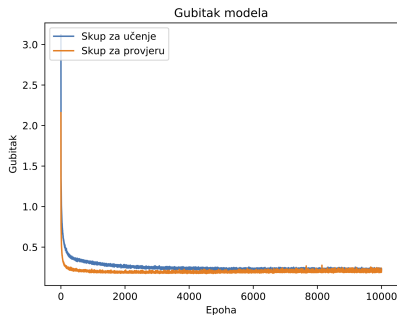
- *Python, Kreas, TensorFlow*

- *Python, Kreas, TensorFlow*
- Algoritam učenja - *ADADELTA*

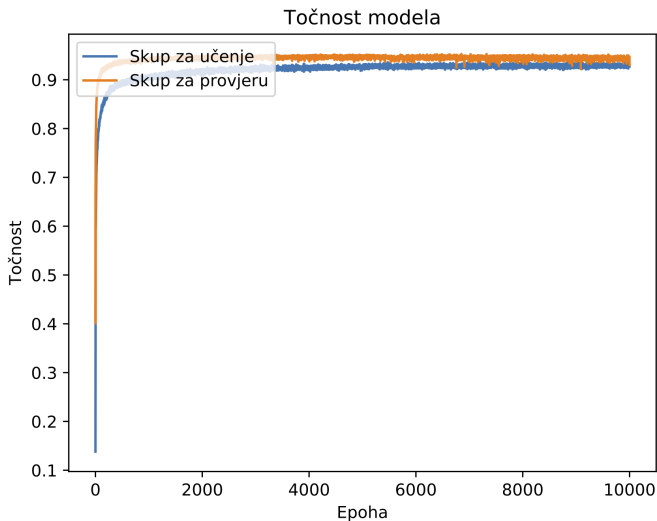
- *Python, Keras, TensorFlow*
- Algoritam učenja - *ADADELTA*
- Regularizacija - *dropout*:
  - Između potpuno povezanoga sloja i sloja sažimanja - 0.25
  - Između dva potpuno povezana sloja - 0.5



(e) Bez regularizacije



(f) Uz regularizaciju



Slovo	Točnost
A	34/35
B	31/31
C	29/29
Č	30/32
Ć	28/28
D	31/32
Đ	27/29
E	31/33
F	34/35
G	30/31
H	22/24

Slovo	Točnost
I	25/31
J	21/25
K	32/34
L	31/39
M	32/34
N	27/30
O	23/24
P	26/26
R	35/37
S	28/32
Š	45/45

Slovo	Točnost
T	47/47
U	26/27
V	30/32
Z	26/27
Ž	26/28
X	29/29
Y	23/24
W	23/25
Q	23/30
-	35/35
Ukupno	94%

Tablica: Točnost na skupu za testiranje

N->H	I->J	H->L	Ž->Z	E->P	Q->G	H->N	Ž->Z	S->D	Y->X	V->B	Đ->D
Q->T	E->F	I->J	J->T	J->O	N->S	L->I	L->I	M->H	I->J	L->I	L->F
V->U	L->R	L->I	S->N	Q->A	Đ->D	I->L	W->Y	U->V	K->Y	Q->Đ	W->U
Z->X	R->P	M->N	I->L	Q->R	R->V	J->U	Q->G	K->H	L->I	O->A	S->N
A->G	J->D	Č->Ž	S->D	Č->Ž	Q->L	D->F	F->K	L->H	I->J	G->Q	N->U

- Dobiveni rezultati vrlo zadovoljavajući za dani skup podataka:
  - Završni rad - obična neuronska mreža, ručno izlučivanje značajki - 78.44%
- Potreban veći skup podataka.
- Naprednija konvolucijska neuronska mreža.
- Poboljšati algoritam učenja.

Hvala na pažnji!