

Použitie neurónových sietí v biomedicínskych aplikáciách

Gabriela Andrejková
Ústav informatiky
Prírodovedecká fakulta UPJŠ v Košiciach



Abstrakt

Modely neurónových sietí (NN) nachádzajú rozsiahle uplatnenie pri práci s biomedicínskymi údajmi. V prednáške bude ilustrované použitie neurónových sietí pre štyri rôzne typy biomedicínskych údajov. Ukážeme modely vlastných systémov s neštandardným využitím neurónových sietí (kombinácie neurónových sietí) a dosiahnuté výsledky pre nasledujúce štyri typy údajov, ktoré sú získané z meraní na ľudskom tele:

- obrázky uší používané na identifikáciu vlastníkov uší,
- elektroencefalografové údaje získané z mozgu pre klasifikáciu stavov vedomia,
- ultrazvukové údaje pečene pre klasifikáciu dvoch chorôb (cirhóza, steatóza),
- koncentračné matice telových tekutín pre klasifikáciu niektorých chorôb

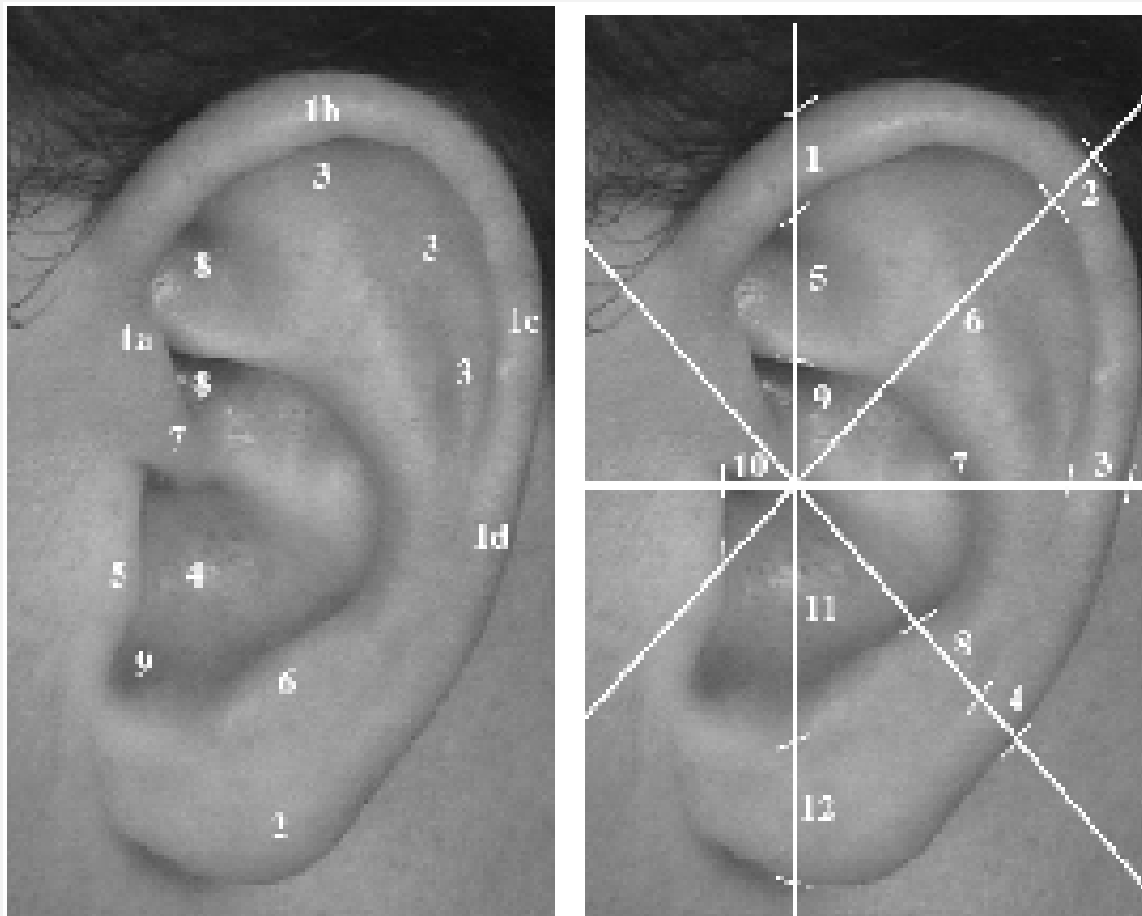
Obsah

- **Motivácia**
- **Rozpoznávanie biometrických údajov pomocou neurónových sietí – identifikačné znaky ucha (RNDr. P. Kazimír)**
- **Klasifikácia mozgových elektrických potenciálov pomocou neurónových sietí (Mgr. M. Rázus)**
- **Použitie neurónových sietí pri spracovaní obrázkov získaných pomocou ultrazvuku (Mgr. M. Vereščák)**
- **Získavanie poznatkov z koncentračných matríc pomocou neurónových sietí (RNDr. T. Pilát, RNDr. J. Oravec)**

Motivácia

- Môj záujem o neurónové siete, ich využitie
- Kontakt s lekármi, ktorí chceli spolupracovať
- Študenti informatiky, ktorí chceli pracovať v tejto oblasti po absolvovaní základnej prednášky

Rozpoznávanie biometrických údajov pomocou NN – ucho, prvý typ údajov – obraz ucha



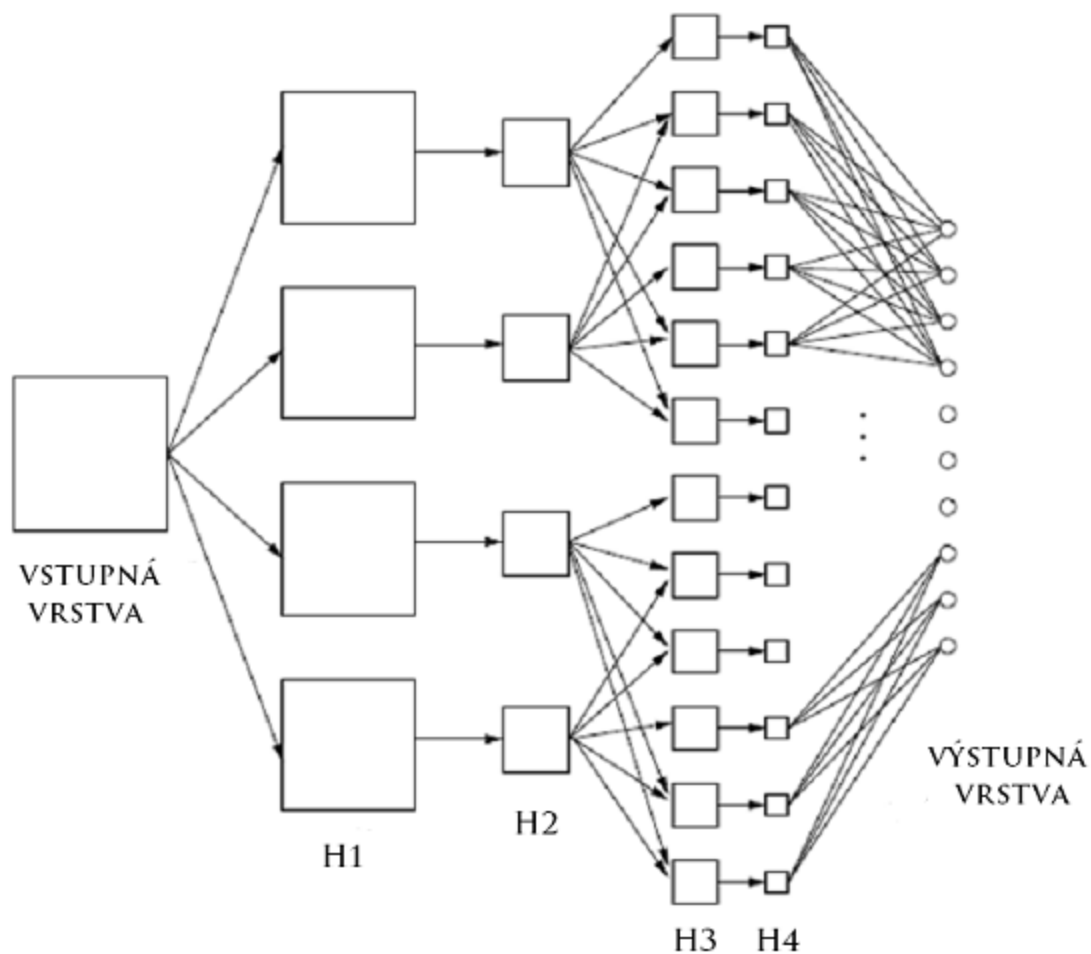
Prehľad metód

Konatelia exper.	Počet vzoriek, Dáta	Aplikovaná metóda	Náušnice /Čiastočné Zahalenia	Dosiah- nutý pomer
Chen & Bhanu	52, 3D	ICP	NIE	90.4%
Hurley	252, 2D	PCA	NIE	99.2%
Moreno	28, 2D	Neurónová sieť	Nespom.	93%
Yuizono	110, 2D	Genetické hľadanie	Nespom.	100%
Victor & Chang	88, 2D	PCA	NIE	73%
Yan & Bowyer	404, 3D	ICP	NIE	97.5%

Konvolučné neurónové siete

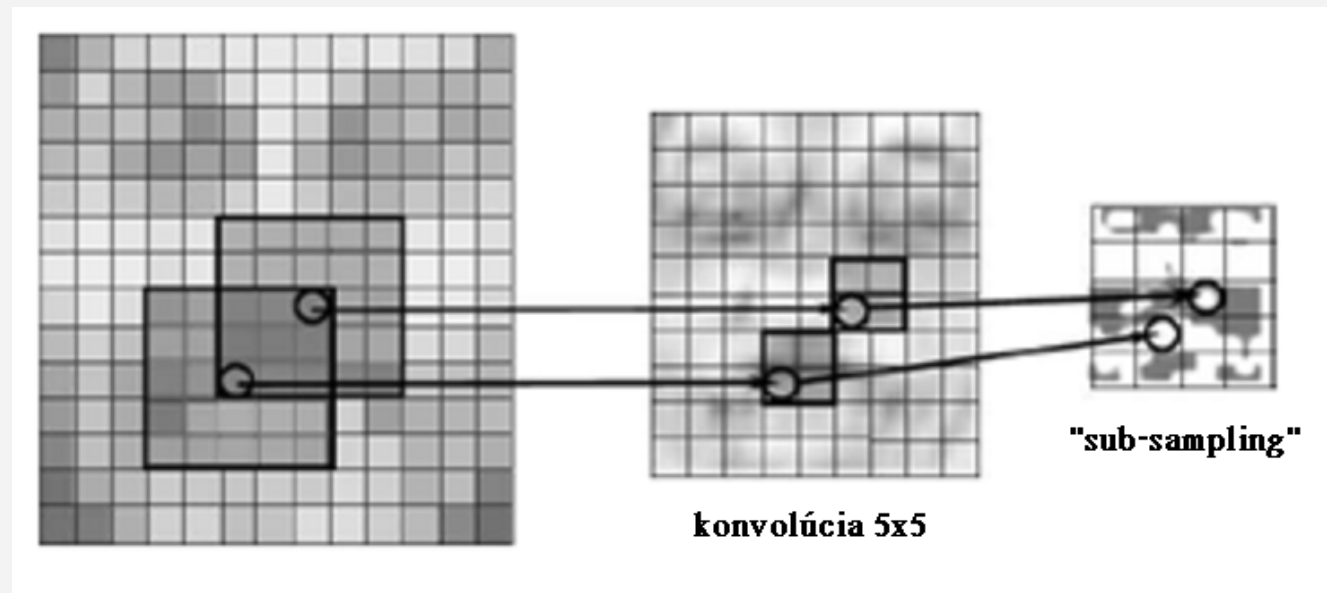
LeCun

Celkovo má sieť 4635 jednotiek, 98442 prepojení, ale kvôli zdieľaniu váh iba 2578 parametrov je potrebné učiť



Konvolúcia a priemerovanie

- Vstupný obrázok nasledovaný znakovou mapou, vyrobenou konvolúciou s 5 x 5 konvolučným jadrom, a 2 x 2 priemerovacou mapou



Konvolúcia

- Vo všeobecnosti aktivačná formula pre konvolučnú mapu j vo vrstve l je:

$$y_j^l(x, y) = \theta^{(l)} \left(\sum_{i \in I} \sum_{(u, v) \in K} w_{ji}^l(u, v) y_i^{(l-1)}(x+u, y+v) + b_j^{(l)} \right)$$

kde

$$K = \{ (u, v) \in \mathbb{N}^2 \mid 0 \leq u < S_x ; 0 \leq v < S_y \}, (S_x, S_y)$$

je dimenzia konvolučného jadra a l je súbor máp predchádzajúcej vrstvy, s ktorými je konvolučná mapa j prepojená

Tréning

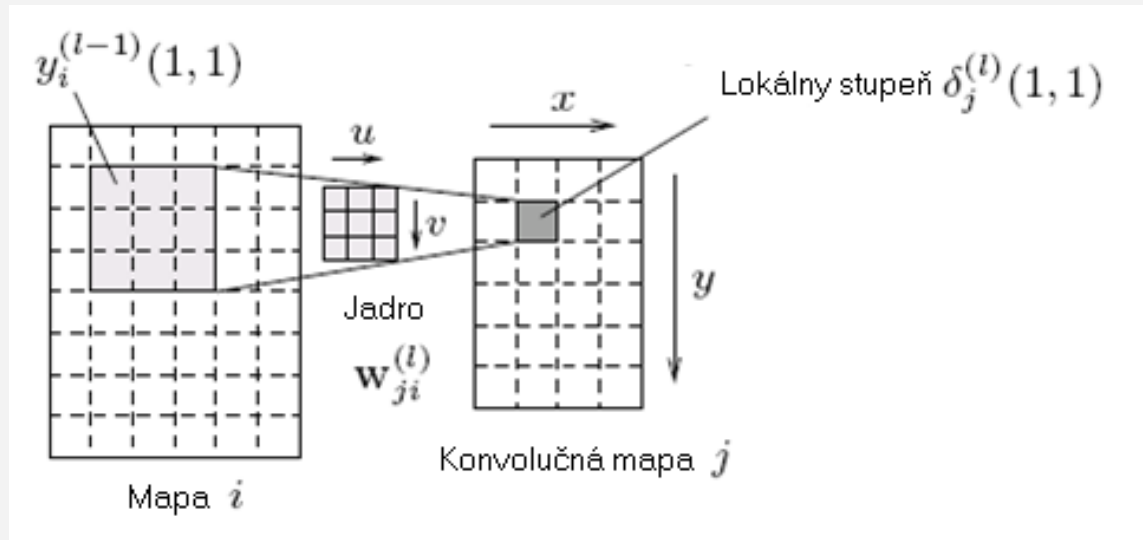
- Algoritmus je takmer identický s backpropagation algoritmom pre štandardný typ neurónových sietí
- Chybová funkcia E bude minimalizovaná po každej tréningovej vzorke p :

$$E_p = \frac{1}{2} \|o_p - t_p\|^2 = \frac{1}{2} \sum_{k=1}^K (o_{pk} - t_{pk})^2$$

- Pre úpravu váh platí:

$$w_{ji}^{(l)} \leftarrow w_{ji}^{(l)} + \Delta w_{ji}^{(l)} = w_{ji}^{(l)} - \lambda \frac{\partial E_p}{\partial w_{ji}^{(l)}}$$

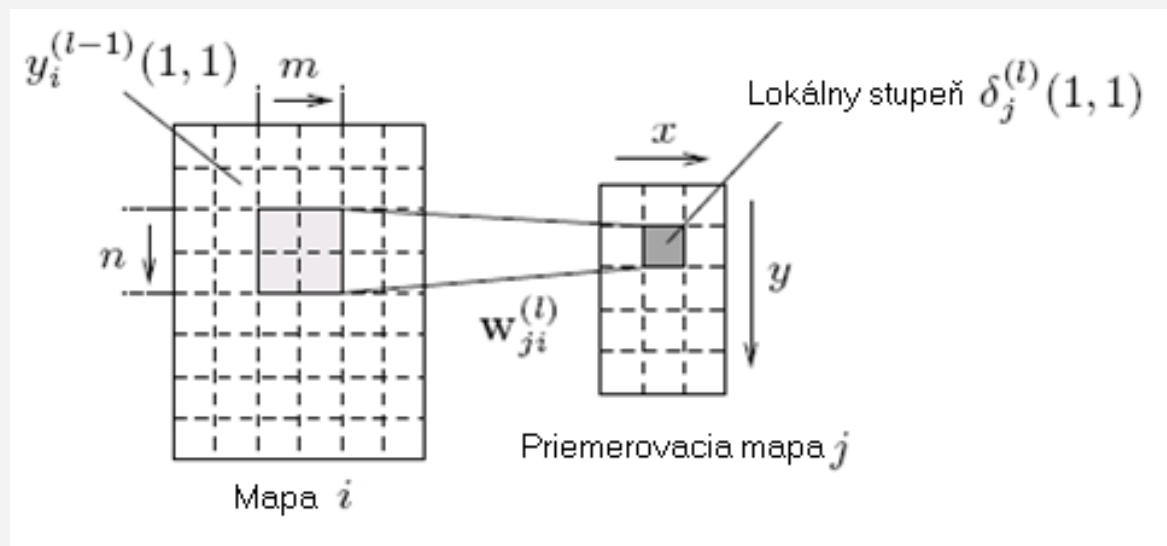
Tréning – konvolučná vrstva



- Úprava príslušnej váhy zo znakovej mapy i do j na pozícii jadra (u, v) je sumáciou cez všetky pozície (x, y) v konvolučnej mape

$$\Delta \mathbf{w}_{ji}^{(l)}(u, v) = -\lambda \sum_{(x, y)} \left(\delta_j^{(l)}(x, y) \mathbf{y}_i^{(l-1)}(x + u, y + v) \right)$$

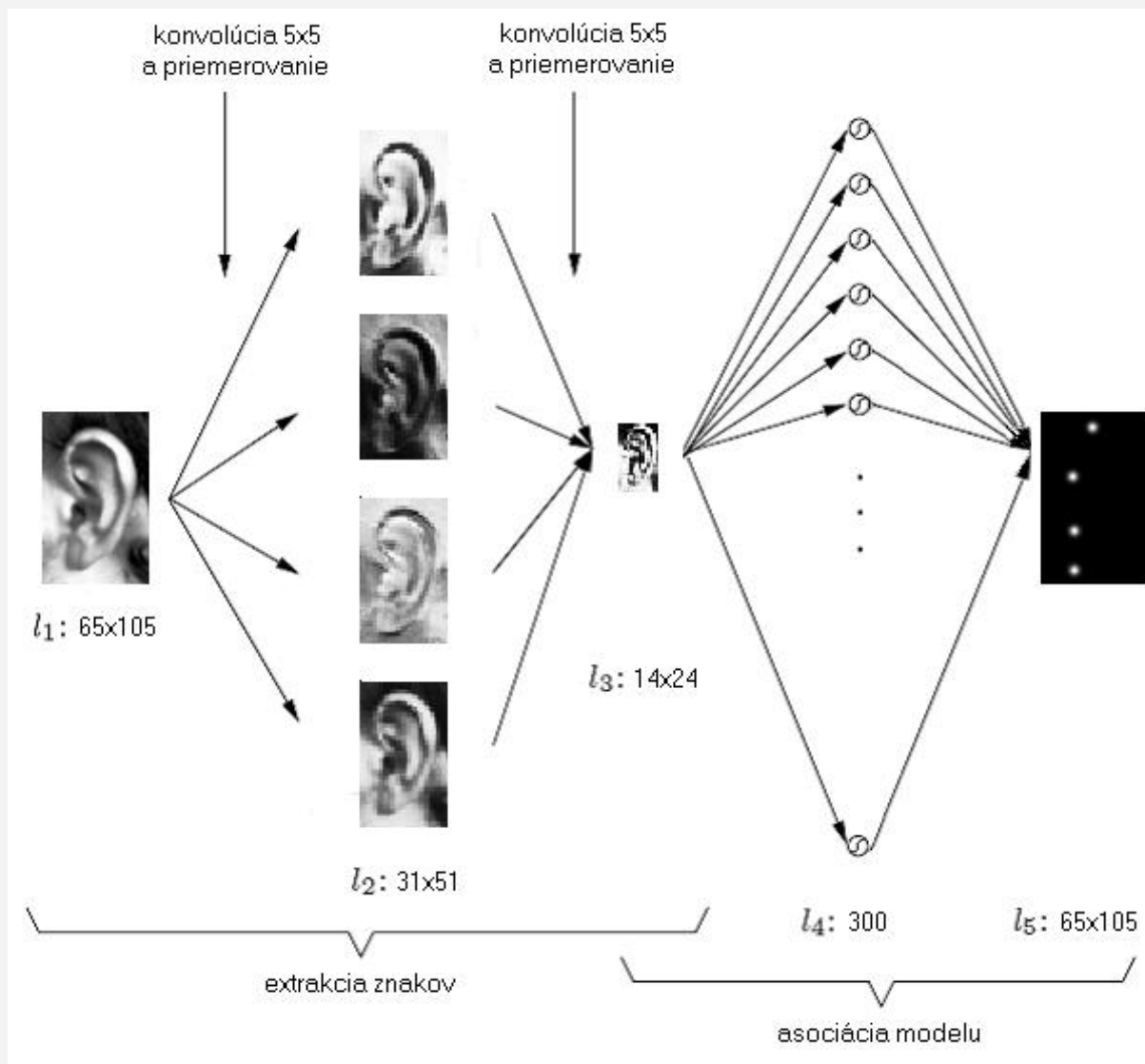
Tréning – priemerovacia vrstva



- Pre váhu $w_{ji}^{(l)}$ z mapy i vo vrstve $l-1$ do priemerovacej mapy j vo vrstve l s veľkosťou okna s_x, s_y a platí:

$$\Delta w_{ji}^{(l)} = -\lambda \sum_{(x,y)} \delta_j^{(l)}(x,y) \sum_{m=1}^{s_x} \sum_{n=1}^{s_y} y_i^{(l-1)}(x s_x + m, y s_y + n)$$

Architektúra systému



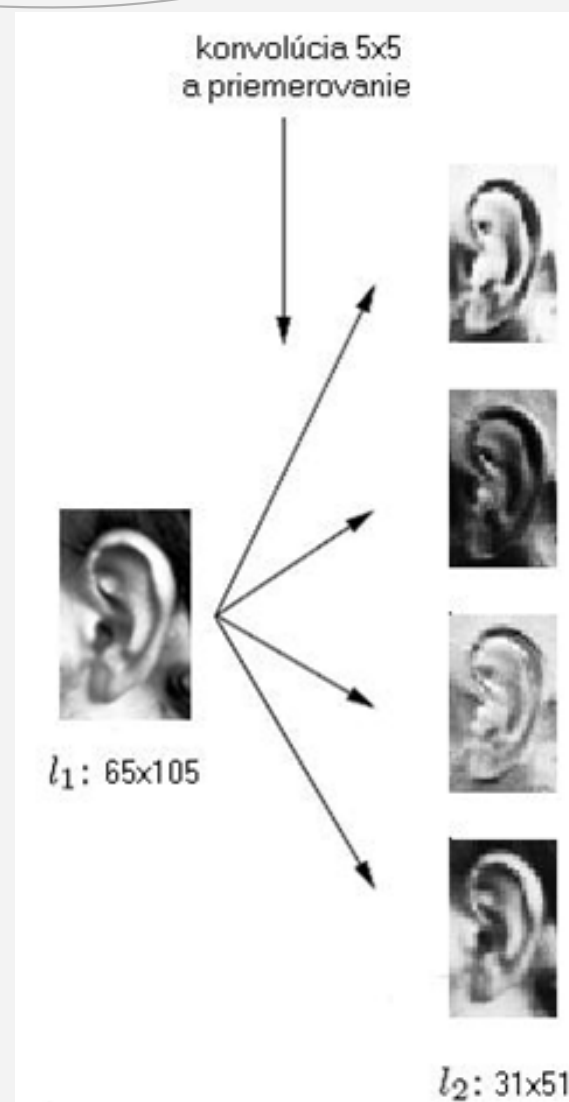
Popis jednotlivých vrstiev

Prvá vrstva l_1 :

- *Vstupný obrázok* obsahuje hodnoty šedej normalizované medzi -1 a +1
- Celkový počet neurónov:
 $105 \times 65 = 6825$

Druhá vrstva l_2 :

- Celkový počet neurónov:
 $51 \times 31 \times 4 = 6324$
- Definovaných váh:
 $(5 \times 5 + 1) \times 4 = 104$



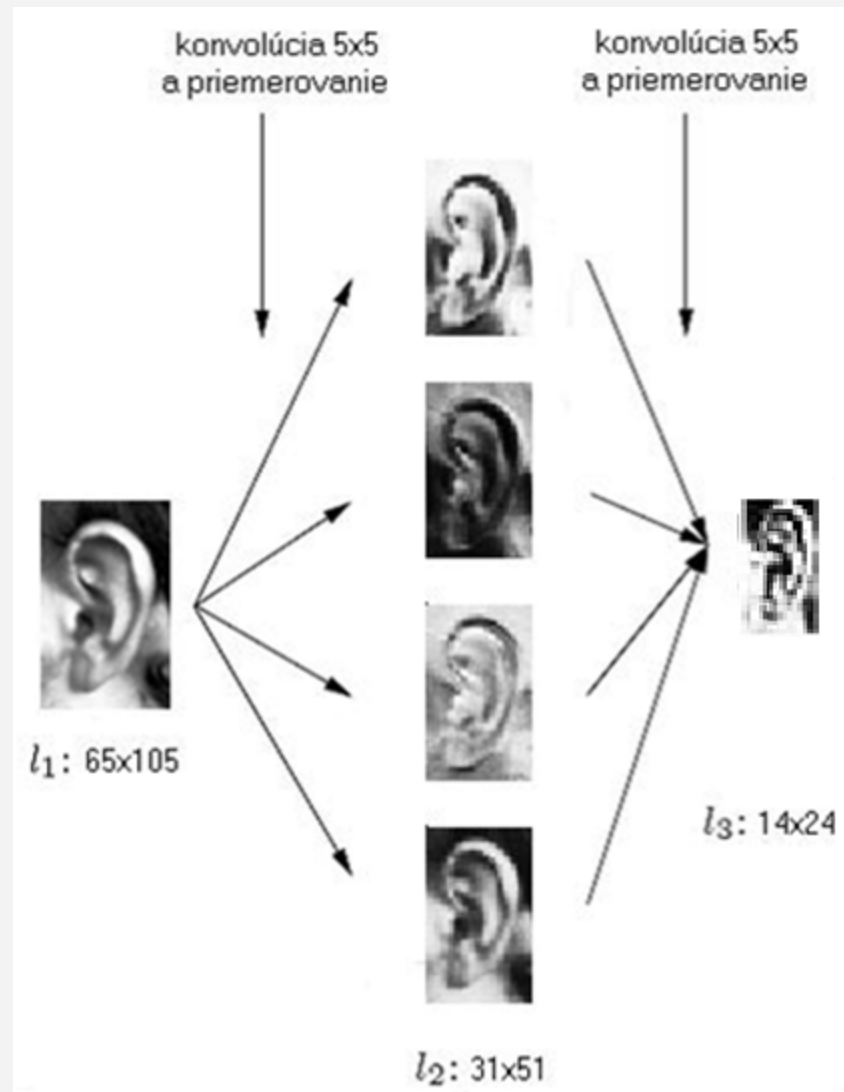
Popis jednotlivých vrstiev

Tretia vrstva l_3 :

- Celkový počet neurónov:
 $24 \times 14 = 336$
- Definovaných váh:
 $(5 \times 5 + 1) \times 4 \times 1 = 104$

Úloha vrstiev l_1 , l_2 a l_3 :

- extrakcia znakov



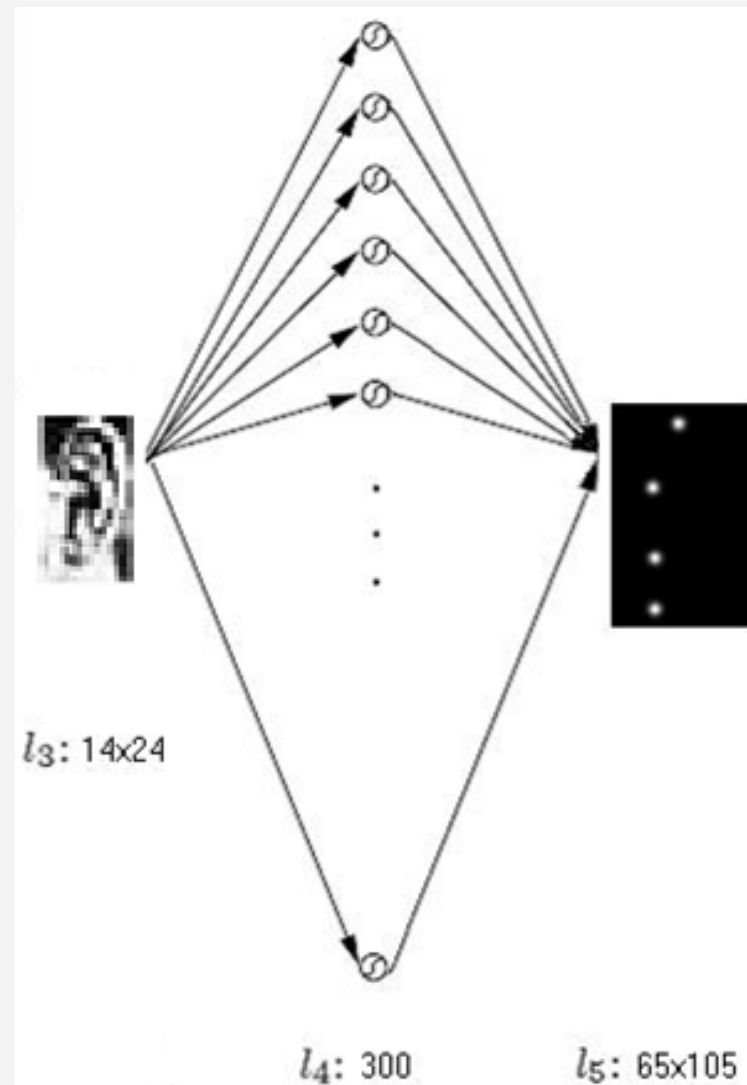
Popis jednotlivých vrstiev

Štvrtá vrstva l_4 :

- Neuróny plne prepojené
- Celkový počet váh:
 $300 \times (336 + 1) = 101100$

Piata vrstva l_5 :

- Celkový počet neurónov: $105 \times 65 = 6825$
- Definovaných váh:
 $6825 \times (300 + 1) = 2054325$



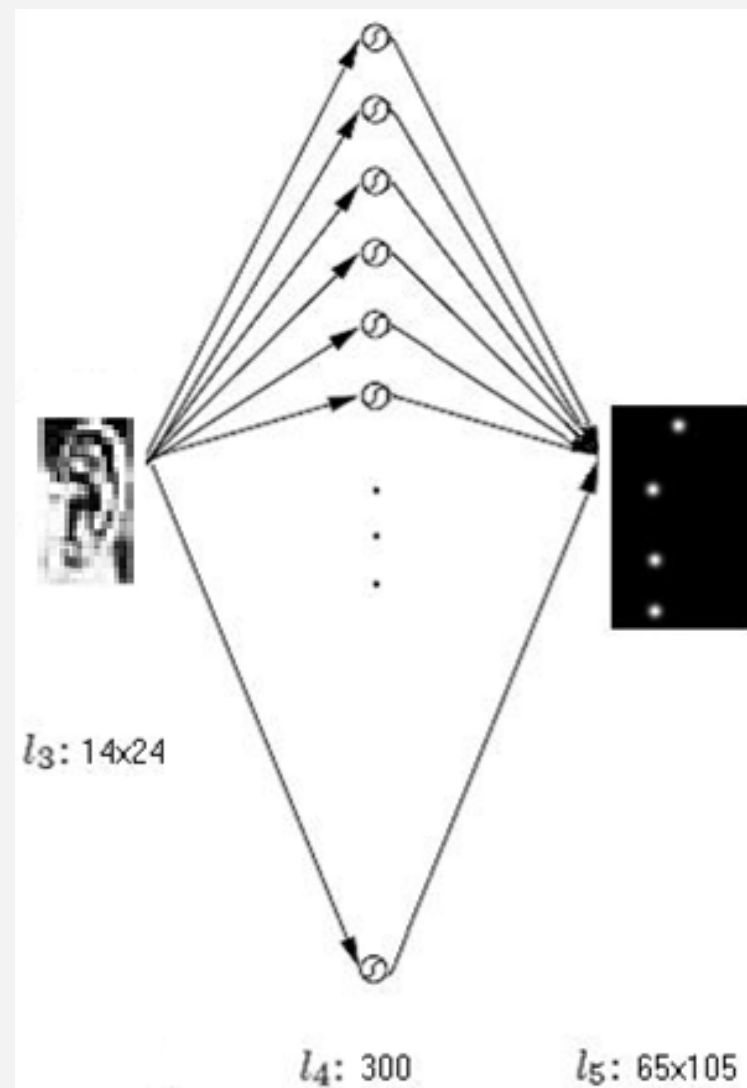
Popis jednotlivých vrstiev

Úloha vrstiev l_4 a l_5 :

- Naučenie sa znakových modelov a aktivovanie cieľových pozícií vo výstupnej znakovkej mape

Aktivačná funkcia

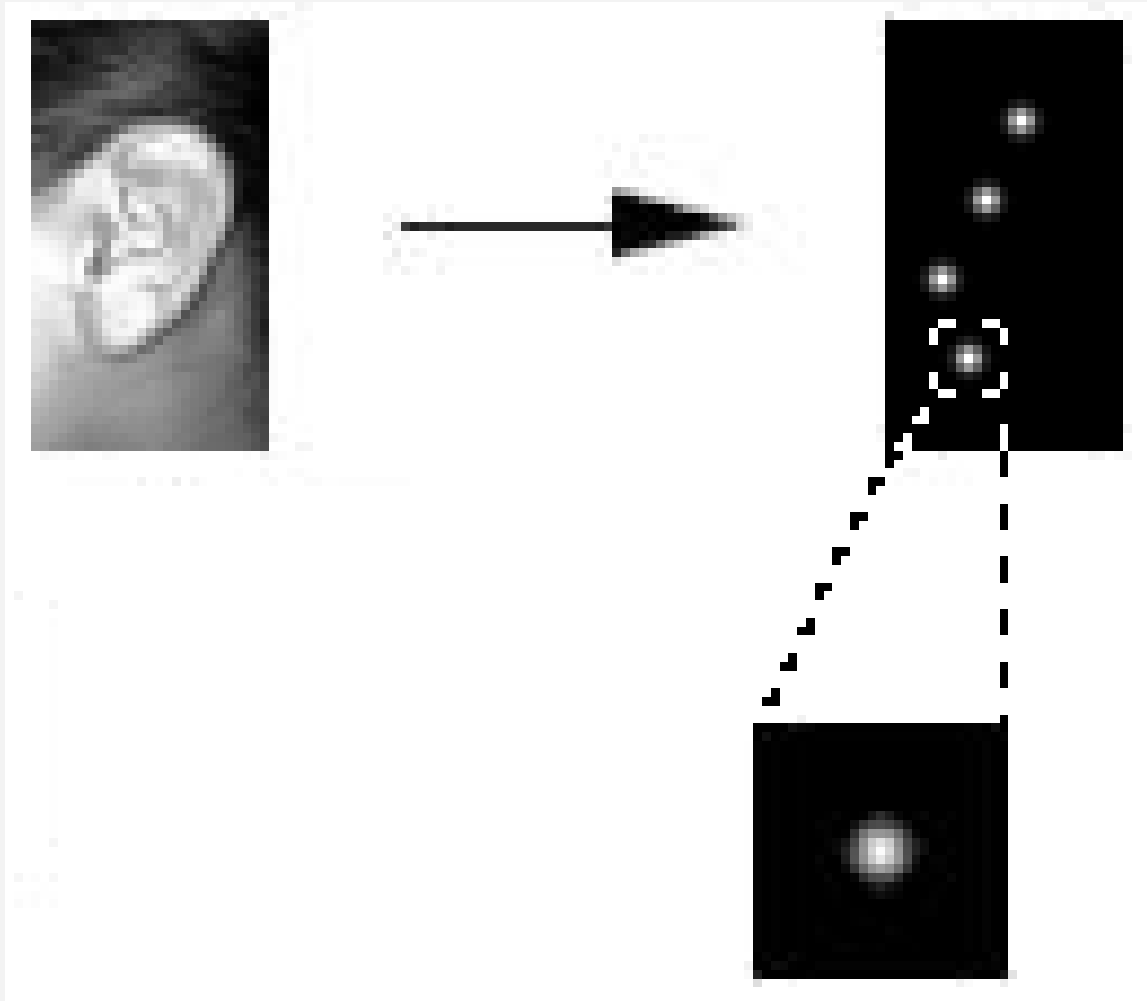
- proporcionálny hyperbolický tangens: $f(a) = A \tanh(Sa)$



Zbieranie dát a ich úprava



Vytvorenie výstupných vzorov



Trénovanie

- Bol použitý štandardný online backpropagation algoritmus pre KNS
- Po každej iterácii je spustená fáza validácie na validačných dátach, čo znamená, že sa hľadá minimálna chyba na validačných dátach, tak aby sa dosiahol najlepší výsledok

Vyhodnotenie sietí

- **Kritérium 1.** Chyba hľadaná medzi hodnotami výstupnej mapy $y_k(i,j)$ a príslušnými hodnotami požadovanej výstupnej mapy $O_k(i,j)$, t.j. chyba počítaná neurón po neuróne:

$$E_{MSE} = \frac{1}{FNM} \sqrt{\sum_{k=1}^F \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^M (y_k(i,j) - o_k(i,j))^2}$$

kde F je číslo výstupnej znakovej mapy a N x M jej dimenzia.

- **Kritérium 3.** Chyba hľadaná v maličkom štvorci v okolí požadovaných výstupov. Ak je hodnota odtieňa sivej aspoň troch a viac pixlov, ktoré sú vzdialené najviac jeden pixel od požadovaného výstupu, väčšia ako nastavená hodnota šedej (172), tak je znak posúdený ako nájdený.

Vyhodnotenie sietí

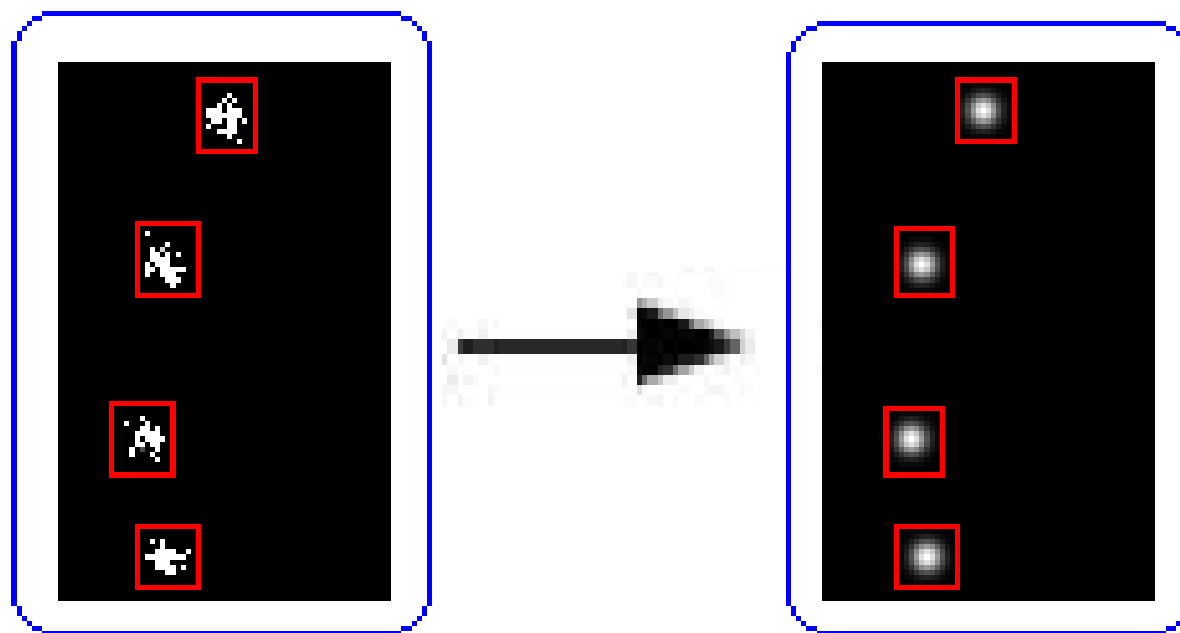
- **Kritérium 2.** Určitý typ vzdialenosti medzi nájdenými výstupnými pozíciami znaku (i_{yk}, j_{yk}) a požadovanými výstupnými pozíciami znaku (i_{ok}, j_{ok}) :

$$E_{dist} = \frac{1}{F} \sqrt{\sum_{k=1}^F \left((i_{yk} - i_{ok})^2 + (j_{yk} - j_{ok})^2 \right)}$$

- kde

$$(i_{yk}, j_{yk}) = \arg \max_{i,j} y_k(i, j) \quad (i_{ok}, j_{ok}) = \arg \max_{i,j} o_k(i, j)$$

Kritéria na minimalizovanie chyby



Kritérium 1

Kritérium 3

Vyhodnotenie výsledkov

Sieť bola považovaná za naučenú, keď:

- Kritérium 1 dosiahlo hodnotu pod 0.03 a zároveň
- Kritérium 3 malo úspešnosť väčšiu ako 89%

Obidve kritéria boli splnené po 9824-tej iterácii pri dosiahnutí hodnôt:

Tréningová vzorka

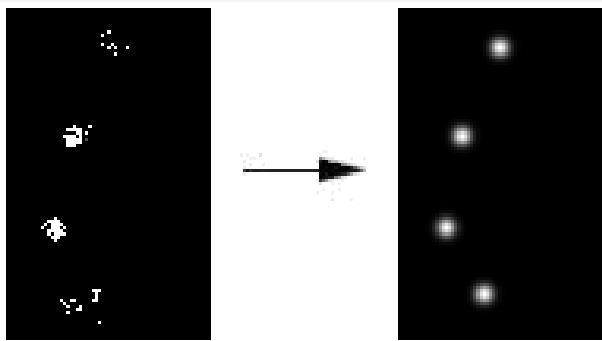
- Kritérium 1 = 0.0261015 a Kritérium 3 = 90%

Testovacia vzorka

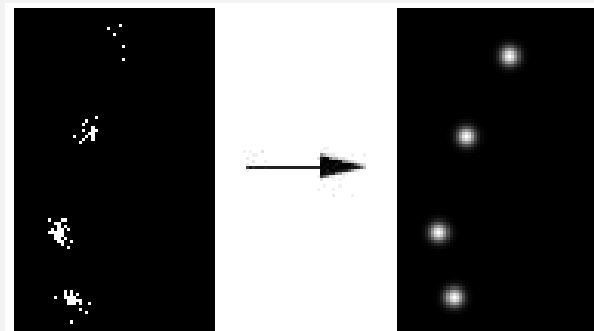
- Kritérium 1 = 0.0383563 a Kritérium 3 = 25%

Tréningová vzorka

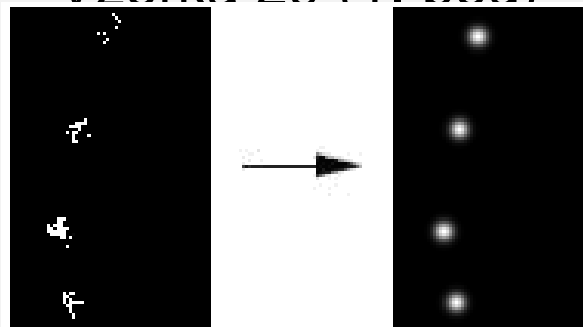
Vzorka 5 (1. a 4. bod)



Vzorka 9 (1. a 2. bod)

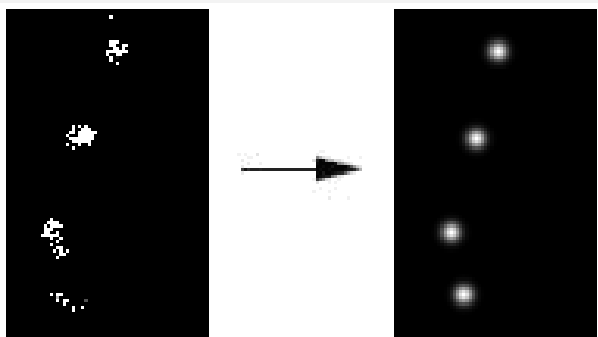


Vzorka 29 (1. bod)

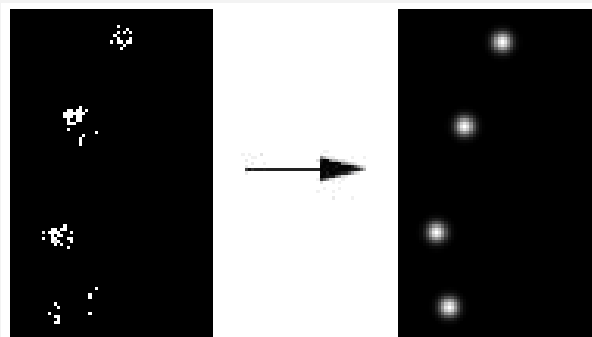


Testovacia vzorka

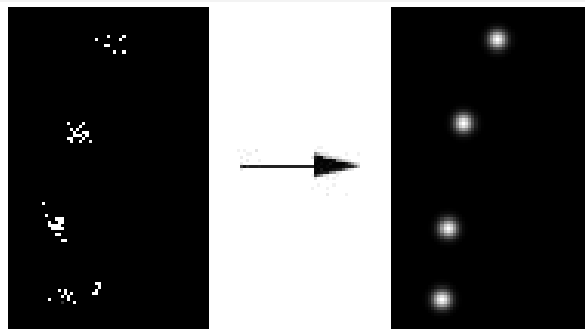
Vzorka 31 (1. a 4. bod)



Vzorka 32 (4. bod)



Vzorka 34 (3. a 4. bod)



Poznámky k výsledkom riešenia

- Niektoré body daná sieť aj napriek vysokej úspešnosti nájdenia bodov a nízkej chybovosti nemohla nájsť

Príčiny:

- malá tréningová vzorka, zvolenie hodnôt učiacich pomerov, atď.

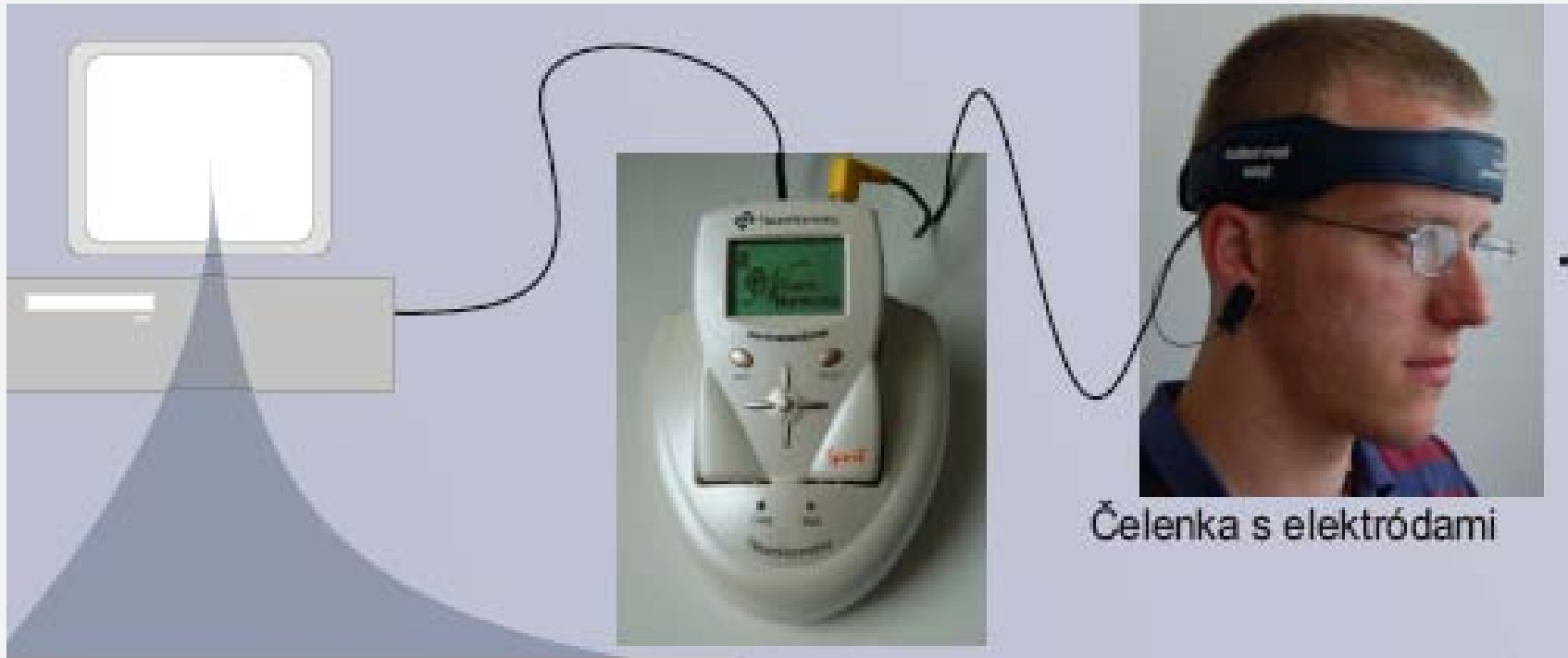
Pokračovanie experimentu:

- extrakcia abstraktnejších znakov ucha, ako napr. vzdialenosti medzi jednotlivými časťami ucha, krivky alebo iné geometrické parametre

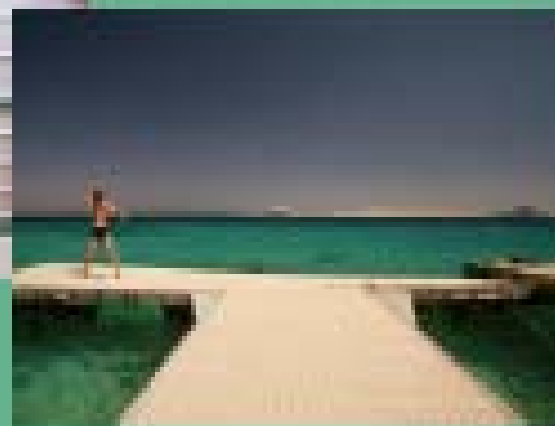
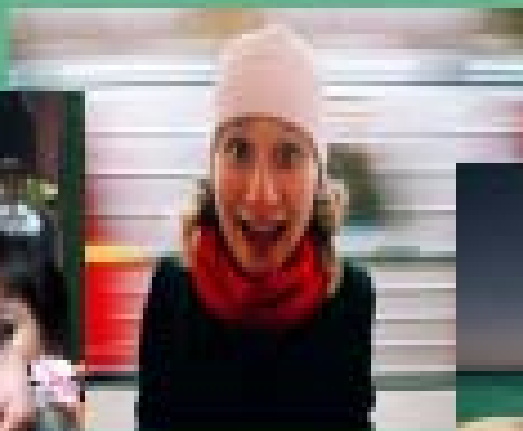
Druhý typ údajov

- Modely neurónových sietí boli použité pri **klasifikácii stavov mysle**.
- Bol použitý jednoduchý elektroencefalograf na získanie reálnych údajov zo signálov z mozgu u ľudí, ktorí sledujú nejaké postupnosti obrázkov.
- **Trénovanie neurónových sietí** bolo zrealizované použitím uvedených údajov a **trénované neurónové siete** boli použité v klasifikácii stavov mysle testovaných respondentov.
- Výsledky nám poslúžia ako štartovací bod ku konštrukcii jednoduchých hier, ktoré môžu byť riadené signálmi z mozgu.

Použitý elektroencefalograf Neuroharmony“ od firmy Braintech Corporation, model NHP1



Niektoré obrázky s pozitívnymi motívmi



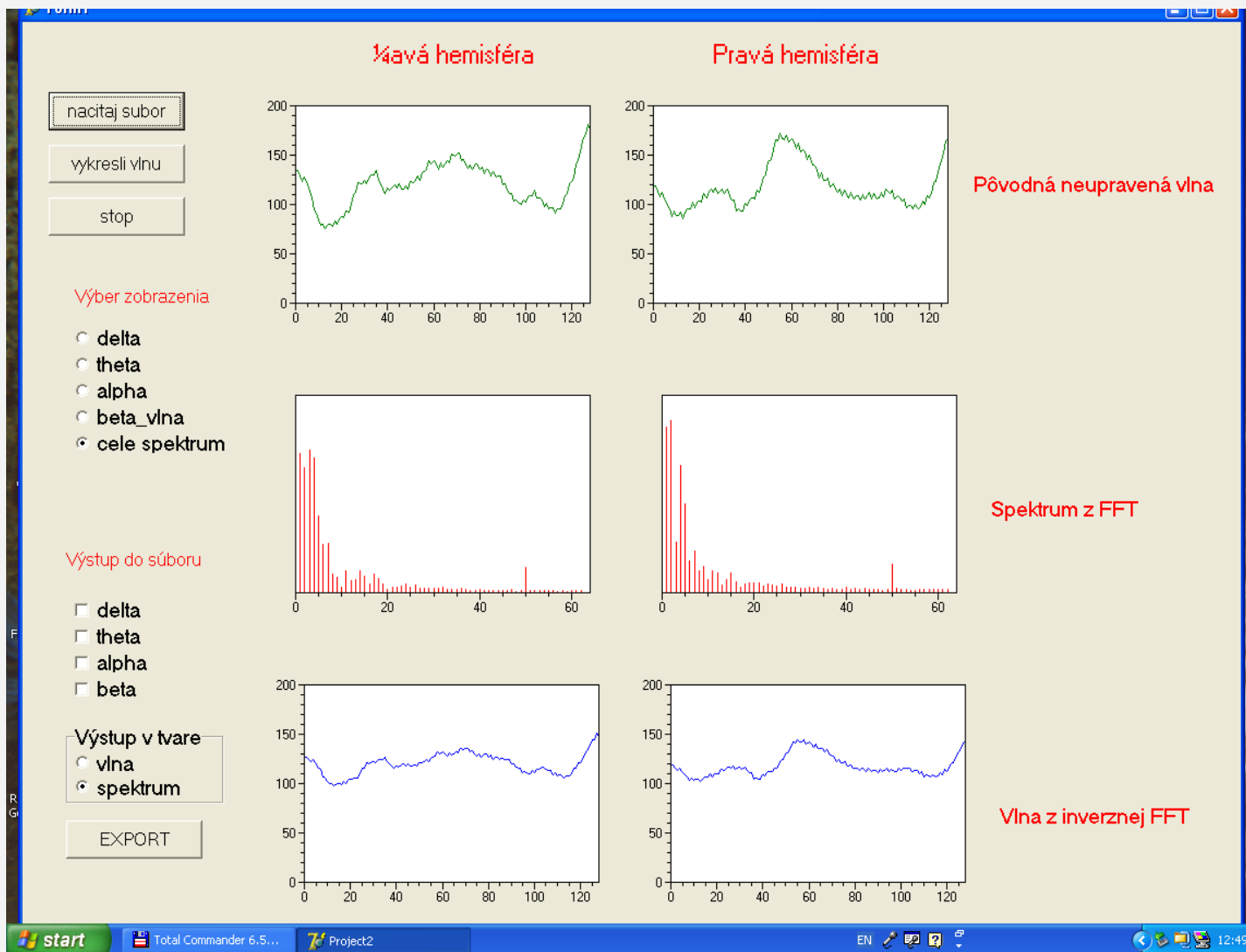
Niektoré obrázky s deprimujúcimi motívmi



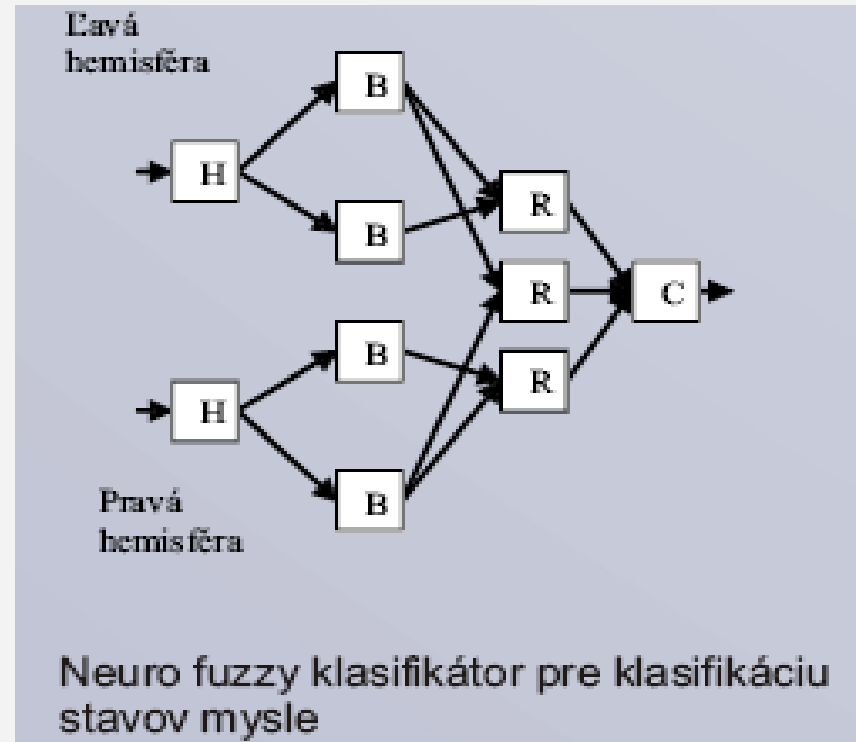
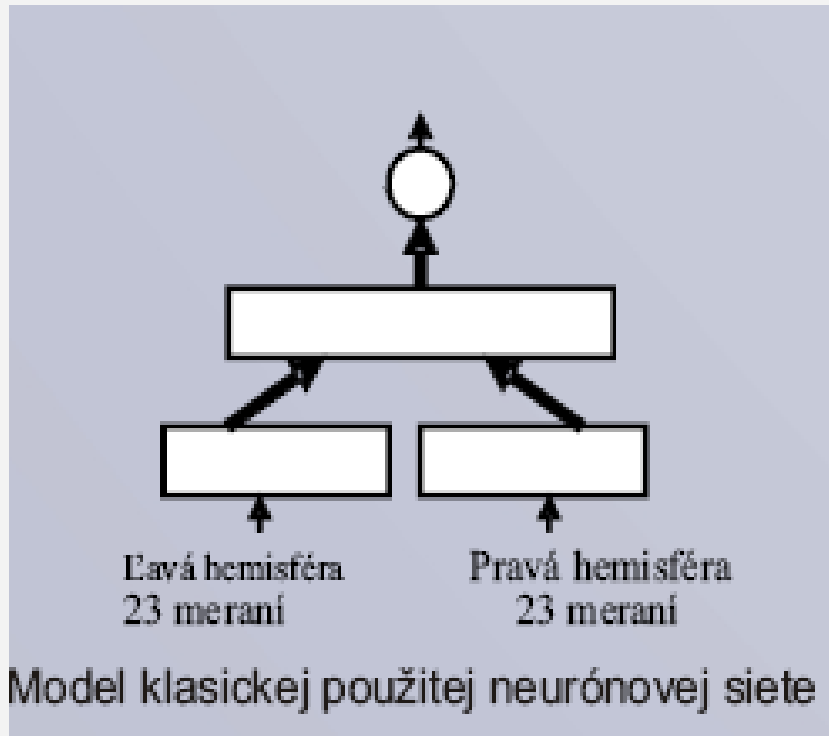
Úlohy, ktoré z toho vyplynuli

- Nájsť rozhranie pre spracovanie v reálnom čase - spracovanie z log súborov, ktoré sú vytvárané pri meraniach.
- Vzorkovať zachytenú vlnu a odfiltrovať alpha a beta vlny.
- Spektrálnu reprezentáciu týchto vln predspracovať pre vstup do neurónovej siete.
- Vytvoriť aplikáciu na rozpoznávanie stavov mysle v reálnom čase.
- Neurónovú sieť natrénovať pre rôzne stavy mysle.
- Vyhodnotiť a interpretovať dosiahnuté výsledky.

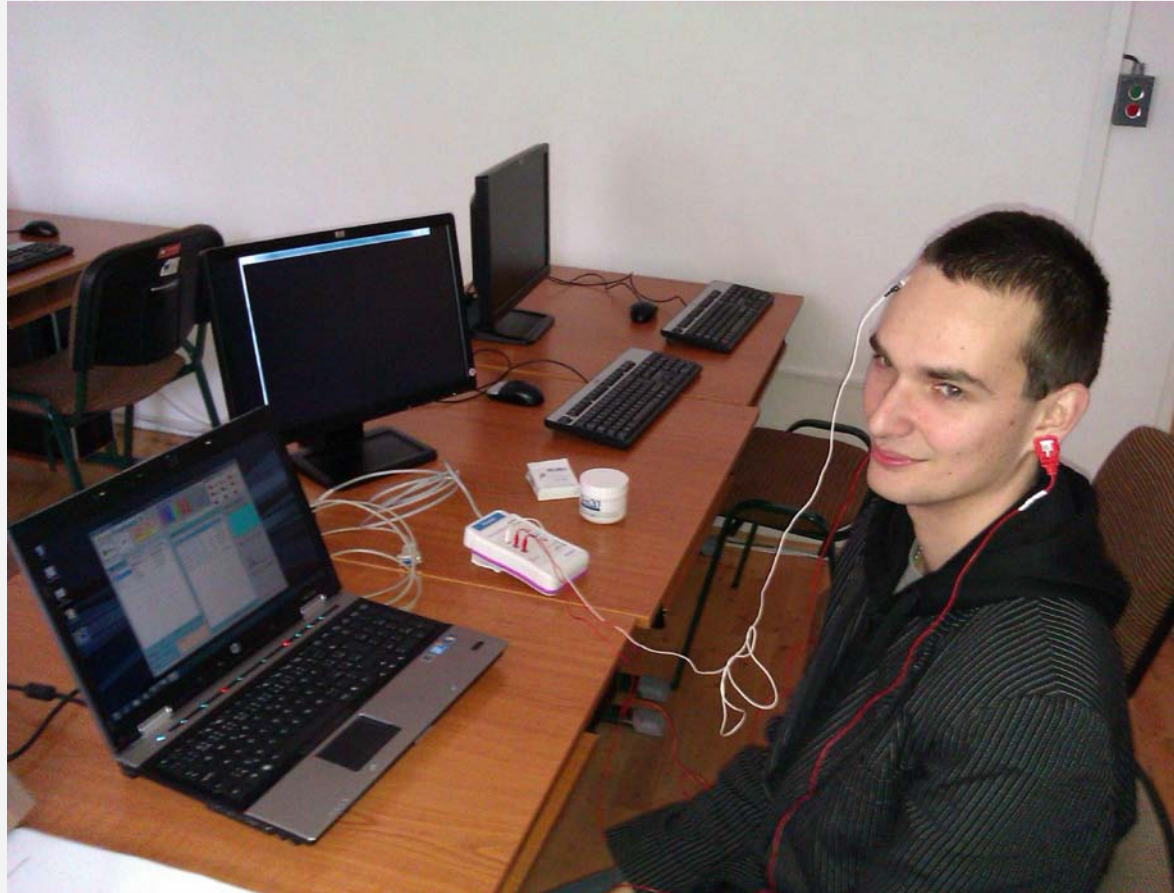
Spektrálna analýza získaných meraní



Použité modely neurónových sietí



Práca so zakúpeným EEG – CEX CaKS



Tretí typ údajov – ultrazvukové obrázky

Cirhóza



- Echogenita parenchýmu zvýšená, v porovnaní s echogenitou pri steatóze však viac okrskovite až mapovite.
- **Oslabenie ultrazvuku je väčšie**, preto sú vzdialenejšie časti pečene zobrazené slabšie. Tieto zmeny sú však zreteľné až v neskorších štádiách.
- V začiatočnom štádiu sa steatóza od cirhózy nedá jednoznačne odlíšiť.
- Biopsia

Prehľad stavu problematiky

- Mojsilovic, A., Popovic, M., Markovic, S. a Krstic, M.
- charakterizácia ultrazvukových obrázkov chorôb pomocou **textúrnej charakterizácie tkaniva** využitím Quincunx neseparovateľnej vlnkovej transformácie
- Mojsilovic, A., Popovic, M., Markovic, S., Krstic, M.: *Characterization of visually similar diffuse diseases from B – Scan liver images using nonseparable wavelet transform*, IEEE Transactions on Medical Imaging, Vol. 17, No. 4, pp. 541 – 549, 1998

Prehľad stavu problematiky

Ahmadian, A., Mostafa, A., Abolhassani, M. D.,
Salimpour, Y.

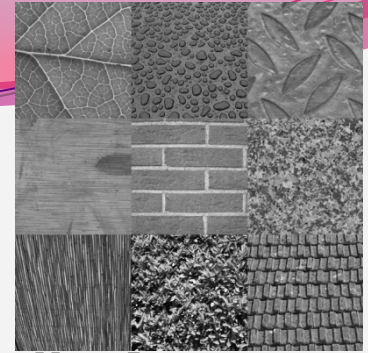
- Gáborove vlnky na problém rozpoznávania ultrazvukových obrázkov pečene
- použili 45 obrázkov celkovo, ale všetky boli overené biopsiou, to znamená že išlo skoro o isté prípady
- Ahmadian, A., Mostafa, A., Abolhassani, M. D., Salimpour, Y.: *A texture classification method for diffused liver diseases using Gabor wavelets*, In: Engineering in Medicine and Biology 27th Annual Conference, Shanghai, China, September 1-4, 2005.

Cirhóza(vľavo),

Steatóza (vpravo)



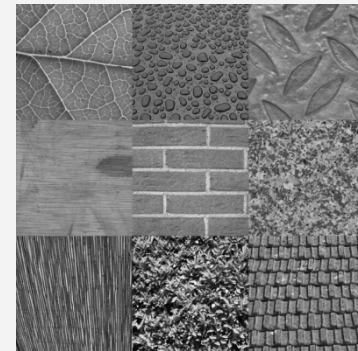
Spracovanie textúry



- **Pojem textúry závisí na týchto troch zložkách (Tuceryan, M. – Jain, A. K.):**
 - nejaké lokálne usporiadanie prvkov sa opakuje v oblasti, ktorá je veľká v porovnaní s týmto lokálnym usporiadaním
 - usporiadanie prvkov spočíva v nenáhodnom poskladaní základných prvkov
 - jednotlivé časti sú zhruba rovnaké entity majúce približne rovnaké rozmery v celej oblasti danej textúry

Vlastnosti dôležité pri popise textúr

- uniformita (jednotvárnosť),
- hustota,
- hrubozrnnosť,
- hrboľatosť,
- pravidelnosť,
- linearita,
- smerovosť,
- smer,
- frekvencia,
- fáza



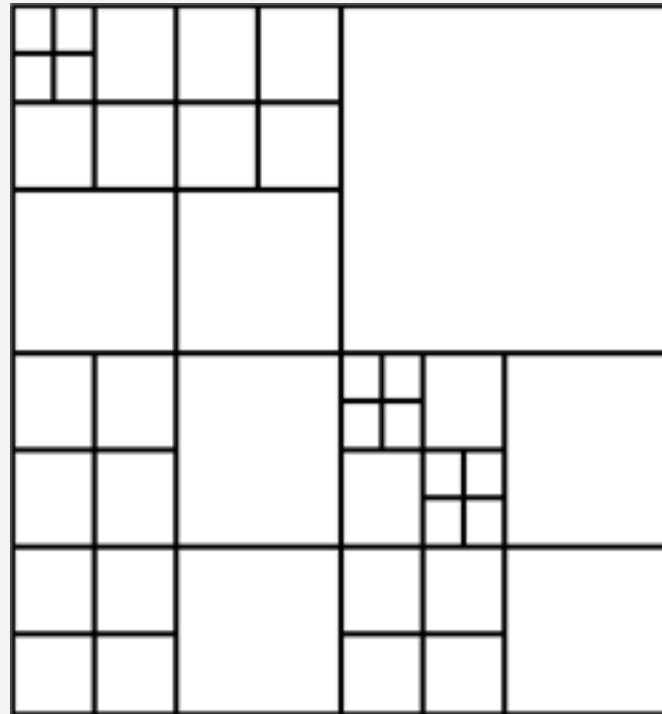
Popis textúr

- Štatistické metódy – nepopisujú dostatočne v rôznych úrovniach priblíženia (matica spoluvýskytov, matica behov, atď.)
- Textúrna klasifikácia založená na paketových vlnkách

Vlnková paketová dekompozícia

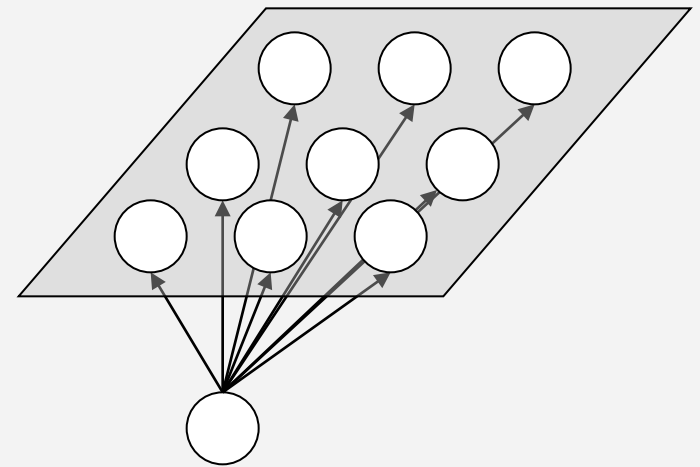
- vychádza z diskkrétnej vlnkovej transformácie
- dekompozíciu môžeme ľubovoľne podľa potreby aplikovať na nízkofrekvenčnú časť signálu rozloženého v predchádzajúcom kroku alebo ju môžeme aplikovať na vysokofrekvenčnú zložku signálu, prípadne na oba súčasne.
- vlnkové pakety sú ľubovoľné stromové štruktúry, ktoré vzniknú takouto dekompozíciou. Máme tak možnosť nájsť najvhodnejšiu stromovú štruktúru na reprezentáciu signálu.
- toto je ekvivalentné s hľadaním najlepšej bázy.

Vlnková paketová dekompozícia



Model samoorganizujúcej sa neurónovej siete (SOM)

- **Trénovacia procedúra**
- V každom cykle rob {
zober tréningovú vzorku
nájdí víťaza
adaptuj váhy
aktualizuj parametre učenia
}



Počítačom podporované diagnostikovanie

- **získanie obrázkov**

- potrebné dostatočné množstvo obrázkov
- spôsob ukladania obrázkov a ich formát a rozlíšenie

- **predspracovanie**

- redukcia a odstránenie chýb, odstránenie šumu
- normalizácia obrázkov (môžu byť rôznej kvality, snímame za rôznych okolností – napr. histogramová ekvalizácia pre vyrovnanie jasových úrovní)

Počítačom podporované diagnostikovanie

- **segmentácia – jedna z hlavných metód CAD systémov**
 - rozpoznávanie rôznorodých štruktúr v obrázku
 - existuje veľa rôznych metód pre túto oblasť
- **analýza jednotlivých štruktúr/ROI - každá oblasť pre rôzne charakteristiky**
 - tvar, veľkosť, umiestnenie
 - homogénnosť
 - porovnávanie s okolitými oblasťami (štruktúrami)
 - textúrne charakteristiky
 - rôzne štatistické charakteristiky

Počítačom podporované diagnostikovanie

- **vyhodnotenie/klasifikácia** – potom, čo sa jednotlivé ROI alebo štruktúry kvantifikujú, tak sa skúma možný výskyt choroby, na čo sa používajú rôzne klasifikačné metódy
 - Rôzne neurónové siete
 - Metóda najbližšieho suseda
 - Bayesiov klasifikátor
 - Rôzne iné metódy

Výsledky testov – príprava údajov

Skupina obrázkov z ultrazvukového prístroja ALOKA 4000

- formát .bmp o rozmeroch 640 x 480 pixlov s farebným rozlíšením 24 bitov na pixel, pričom oblasť tkaniva je v odtieňoch šedej, popíšeme 8 bitmi - 256 odtieňov.
- K dispozícii 68 obrázkov. Z toho 26 - tkanivá zdravých pacientov (od 15 pacientov), 19 obrázkov cirhózy (od 10 pacientov) a 23 obrázkov steatózy (od 11 pacientov).

Výsledky testov – príprava údajov

- **Skupina obrázkov získaných z ultrazvukového prístroja Esaote MyLab50**
- formát .bmp, 800 x 652 pixlov s farebným rozlíšením 24 bitov na pixel, pričom podobne oblasť tkaniva (kruhový ultrazvukový výsek) je v 256 odtieňoch šedej.
- 165 obrázkov (od 165 pacientov), prípady steatózy (119) a zdravé prípady (46).
- Testy na menšej množine dát prípadov steatózy (54 obrázkov steatózy) - vyberané hlavne reprezentatívne prípady. Skupina obrázkov od zdravých pacientov je použitá celá. Dokopy nám to dáva 100 obrázkov.

Výsledky testov – štandardizácia

- V prípade ultrazvuku je dôležité vyberať resp. dopredu nasnímať obrázky **s rovnakými nastaveniami**, pretože samotný ultrazvuk dovoľuje uložiť obrázok s rôznym priblížením, jasom a inými nastaveniami.
- **Oblasť záujmu (ROI)**, ktorú vyberáme z obrázka musí byť štvorcová, navyše strana štvorca musí byť mocninou dvojky - z dôvodu použitej vlnkovej transformácie. Pri použití štatistických metód je lepšie pracovať so štvorcovou oblasťou. Počet pixelov obrázka musí byť najmenej 800 .
- ROI by mala byť vyberaná približne na rovnakom mieste zo všetkých obrázkov.

Výsledky testov – interpretácia výsledkov

Dáta rozdelené do týchto 3 skupín:

- skupina obsahuje vzorky tkaniva **steatózy** a vzorky tkaniva **zdravých** pečení
- skupina obsahuje vzorky tkaniva **steatózy** a vzorky tkaniva **cirhózy**
- skupina obsahuje vzorky tkaniva **cirhózy** a vzorky tkaniva **zdravých** pečení

Použité miery na porovnanie

Štatistická miera	výpočet štatistickej miery podľa klasifikovaných prípadov
senzitivita	skutočné pozitívne / (skutočné pozitívne + falošné negatívne)
špecificita	skutočné negatívne / (skutočné negatívne + falošné pozitívne)
presnosť	skutočné pozitívne / (skutočné pozitívne + falošné pozitívne)
správnosť	(skutočné pozitívne + skutočné negatívne) / (všetky vzorky)

Výsledky pre I. skupinu dát z ultrazvukového prístroja ALOKA 4000 pre maticu spoluvýskytov

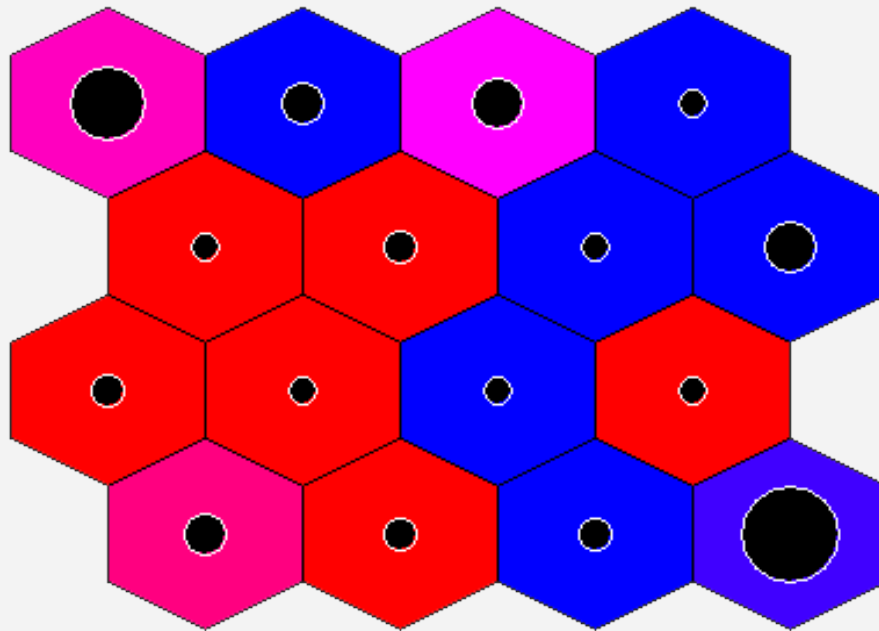
		senzitivita	špecificita	presnosť	správnosť
testovacia množina	steatóza	30.44%	84.62%	63.64%	59.18%
	zdraví	84.62%	30.44%	57.89%	59.18%
trénovacia množina	steatóza	31.43%	91.99%	77.63%	63.56%
	zdraví	91.99%	31.43%	60.26%	63.56%

Výsledky pre I. skupinu dát z ALOKA 4000 pre úplnú paketovú vlnkovú transformáciu do 2. úrovne s výpočtom energie z každého subpásma.

		senzitivita	špecificita	presnosť	správnosť
testovacia množina	steatóza	78.26%	65.38%	66.67%	71.43%
	zdraví	65.38%	78.26%	77.27%	71.43%
trénovacia množina	steatóza	67.03%	73.08%	68.77%	70.24%
	zdraví	73.08%	67.03%	71.47%	70.24%

Bola použitá Haarova vlnka.

Ukážka natrénovanej SOM pre prípad úplnej paketovej transformácie, modrá farba reprezentuje zdravých, červená cirhózy, biela sú neuróny do ktorých sa netrafili žiadne dáta.



Počet trafených dát do jedného neurónu je znázornený čiernym kruhom. Čím je tento kruh väčší, tým viac dát sa trafilo do tohto neurónu.

Poznámky – z pohľadu lekárov

- Aplikovaná metóda je použiteľná ako pomocná metóda pri diagnostikovaní cirhózy pečene.
- Slabšie výsledky dosahuje v II. skupine, kde rozlíšenie cirhózy a steatózy je menej presné.
- Metóda má značné rezervy v príprave dát - veľmi závislá na získaní kvalitného obrázku z ultrazvukového prístroja.
- Napriek uvedeným nedostatkom ju považujeme za vhodnú metódou na zvýšenie miery objektivizácie pri diskriminácii difúzných patologických zmien pečeneňového parenchýmu.
- Bolo by možno vhodné tiež vytvoriť nejakú spoločnú anonymnú databázu takýchto ultrazvukových obrázkov,

Budúcnosť

- Preskúmať možnosti získavania ultrazvukových dát v iných tvaroch než obrázky
- Preskúmať iné typy vlniek – ridgelet, multiwavelet



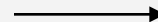
Štvrtý typ údajov – fluorescenčná analýza



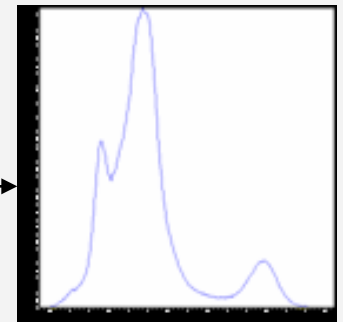
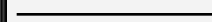
Telové tekutiny



luminiscenčný
spektrometer

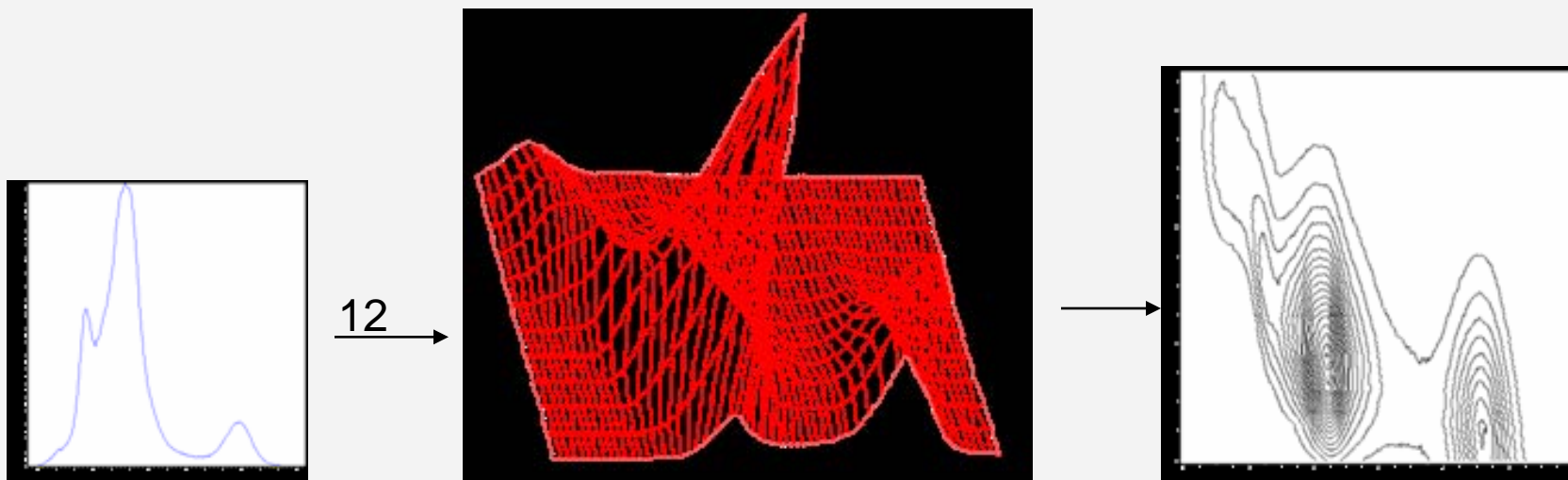


získané
dátové
súbory

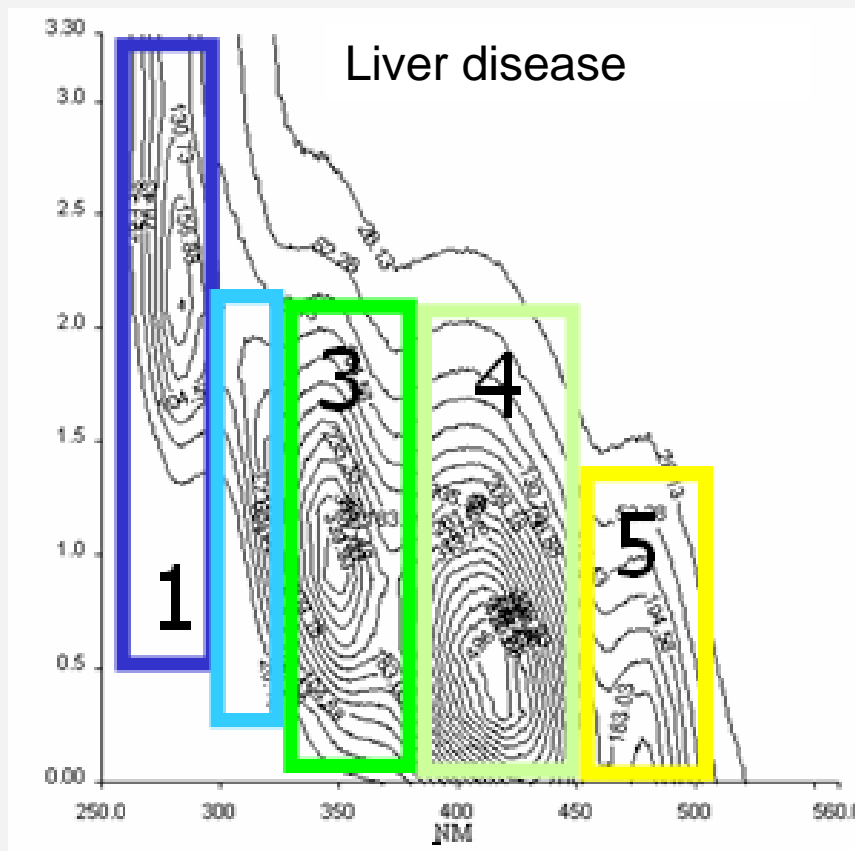


namerané hodnoty
fluorescencie na
jednotlivých vlnových
dĺžkach

Modifikácie koncentrácií



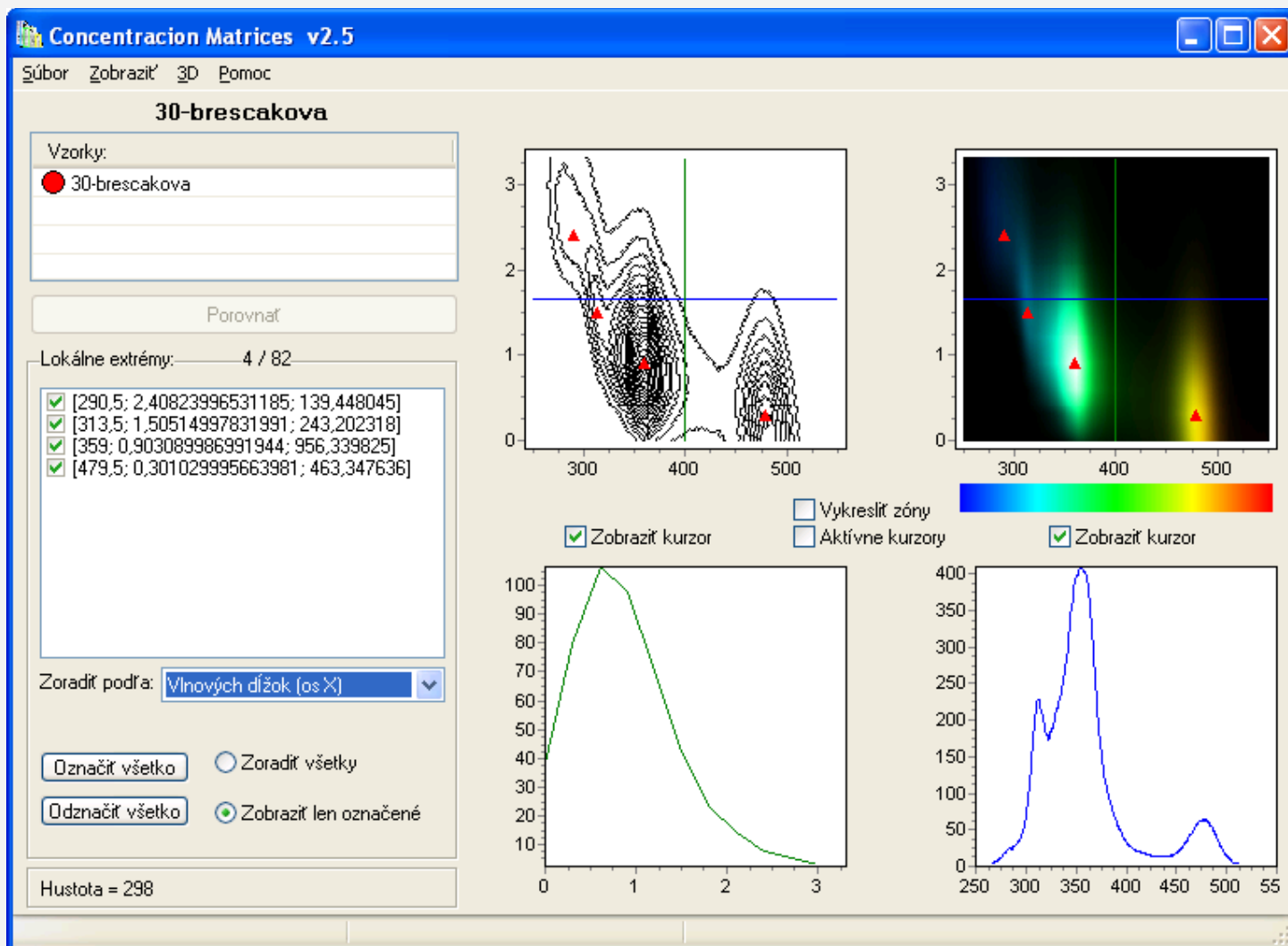
Koncentračné matrice



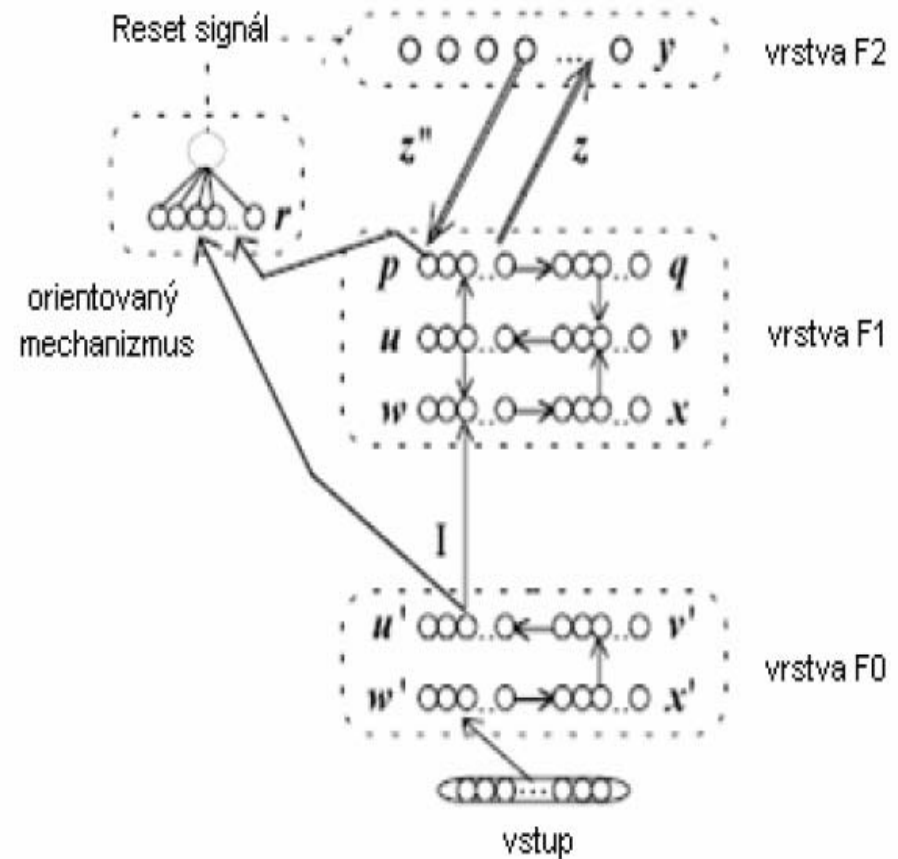
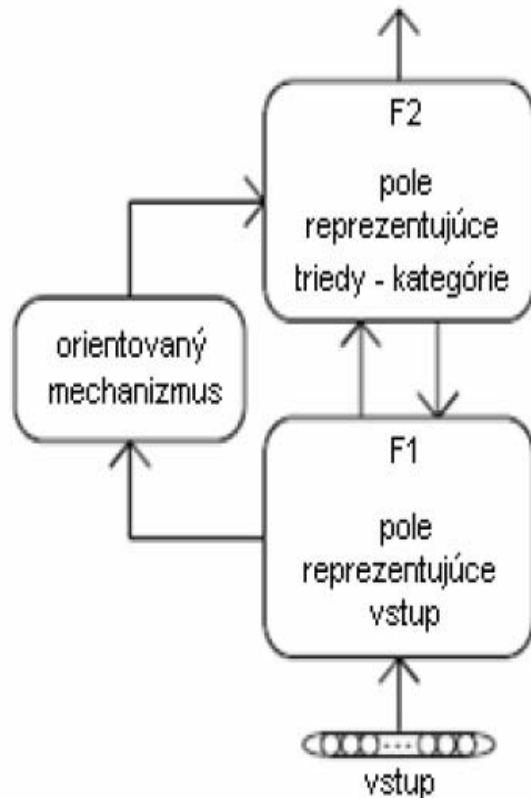
fluorescent centers

- 1.: deriváty of idol, proteins, ...
- 2.: 5-HIAA, ...
- 3.: acid izonikotin, ...
- 4.: kynurenin, ...
- 5.: flavins, ...

Aplikácia spracúvajúca koncentračné matrice



ART 2 neurónová sieť a klasifikácia



S víziou lepšej budúcnosti ...



. . . Ďakujem za pozornosť...