# *Neuronové sítě a neuropočítače*

Přednáší:
Doc.Ing.Miroslav Šnorek,CSc.
Katedra počítačů FEL ČVUT v Praze



## Představme se: výzk. tým „Neurony“

- **Docenti** Miroslav Šnorek
- **Odb. asistenti** Miroslav Skrbek
- Marko Genyk-Berezovskyj
- **Phd studenti** Michal Brát
- Mofreh Hogo
- Milan Jurík
- Jan Koutník
- **Členové–korespondenti**
- Pavel Náplava (Telekom)
- Tomáš Macek (USA, IBM)
- Jan Brunner (všude)



## Co děláme?

- Zkoumáme:
  - nové neuronové architektury,
  - samoorganizující se sítě pro podporu rozhodování a dolování dat,
  - neuronové sítě pro zpracování obrazů,
  - neuronové sítě v simulacích a
  - vyvíjíme neuronový courseware.



## Co jsou to ty neuronové sítě?

- Umělé informační systémy, které jsou principiálně schopny napodobovat funkce nervových soustav a mozků živých organizmů podstatně dokonalejším způsobem, než to činí dosavadní, tzv. konvenční výpočetní technika.
- Pozor! Od umělých neuronových sítí k mozku je ale ještě strašně daleko...



## K čemu jsou umělé neuronové sítě vůbec dobré?

- I když by se nám chtělo odpovědět, že ke všemu, musíme být objektivnější.

- K predikci,
- aproximaci,
- rozpoznávání (klasifikaci),
- asociaci,
- k filtraci,
- optimalizaci,
- popřípadě k dalšímu.



## To se tedy od jiných výpočetních prostředků liší?

- Mezi neuronovými sítěmi a konvenčními počítači existuje ve způsobu práce zásadní rozdíl.
- Ty druhé pracují podle předem daného postupu - algoritmu.
- Ty první uskutečňují velmi vysoký počet dílčích operací současně a pracují bez algoritmu. Jejich činnost je založena na procesu učení, při kterém se neuronová síť postupně k řešení dané úlohy adaptuje.

## Důležité, proto vypíchneme:

- Nealgoritmický způsob výpočtu!
- Vy jste se až dosud seznamovali s počítači a problémy řešenými algoritmicky.



## Z čeho budu studovat?

- Vyšlo nové skriptum „Neuronové sítě a neuropočítače“,
- samostudiem doporučeného courseware.



## Kde a jak budu experimentovat?

- Během cvičení
  - na PC,
  - vzdáleně na počítači SUN.
- Doma
  - na svém PC.
- Distančně
  - k dispozici je několik výukových pásem.



## Kde získám informace o předmětu?

- Osobním aktivním přístupem k výuce,
- http://service.felk.cvut.cz/courses/36NAN



## Jaké budou mít vyučující požadavky?

- Zápočet
  - přítomnost na cvičeních,
  - vypracování dvou samostatných úloh,
  - úspěšným absolvováním dvou průběžných testů,
- zkouška
  - písemná a ústní,
  - hodnocení ze cvičení má výraznou váhu,
  - obvykle se diskutuje i nad závěry z úloh.



## Témata přednášek

**1.** Co jsou to ty neuronové sítě?
**2.** Jednovrstvé sítě I - perceptron
**3.** Vícevrstvé sítě I – ML perceptron
**4.** Vícevrstvé sítě I - algoritmus BP (odvození)
**5.** Jednovrstvé sítě II – Hopfieldova síť
**6.** Vícevrstvé sítě II – GMDH
**7.** Jednovrstvé sítě III – Kohonenova síť
**8.** Jednovrstvé sítě IV – Kohonenova síť pro učení s učitelem (reserva)
**9.** Vícevrstvé sítě III - Neocognitron
**10.** Vícevrstvé sítě IV – RBF sítě

## Témata přednášek - pokračování

**11.** Vícevrstvé sítě V – Teorie adaptivní rezonance
**12.** Komprese dat
**13.** Predikce neuronovou sítí a zpracování obrazových dat
**14.** HW implementace neuronových sítí

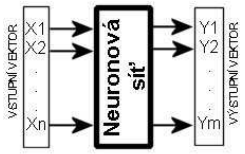


## Úvaha: můj celkový dojem z předmětu

- Volitelný, vyvolává překvapivě velký zájem,
- spolupráce se studenty bývá velmi dobrá,
- někdy až překvapivě
  - kvalitní a
  - rozsáhlé výsledky,
- po počátečním nadšení skepse z interpretace výsledků neuronových modelů.



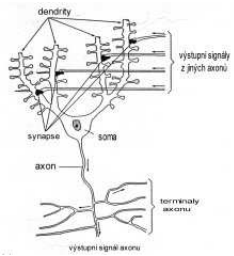
## Umělá neuronová síť - tech. představa




- Obsah černé skříňky - umělá neuronová síť - implementuje nelineární přiřazovací předpis představující složité vztahy, které lze často jen velmi obtížně (někdy dokonce vůbec ne) analyticky vyjádřit.



## Inspirace - biologický neuron




- Každý neuron se skládá z těchto hlavních částí:
- tělo buňky s jádrem (soma),
- dendrity se synapsemi,
- axon s terminály.



## Některá fakta k biologické inspiraci:

- Nervový systém člověka obsahuje přibližně $10^{12}$ neuronů.
- Soma (jádro) má jen 1-10 μm,
- délka dendritu je 2-3 mm, bývá jich však 10 až $100.10^3$,
- délka axonu - je často větší, než 1 m
  (Zajímavost: délka všech axonů jediného člověka více než 4x přesahuje vzdálenost Země-Měsíc).



## Synapse

- Synapse uskutečňují vlastní přenos informací mezi neurony. Dělí se na synapse
  - excitační (budící),
  - inhibiční (tlumící),
- nebo z jiného pohledu
  - chemické,
  - elektrické,
  - jiné.

## Šíření signálu v biologickém neuronu

- Animace biologického neuronu

Jiný zajímavý výukový program pro samostudium této problematiky najdete na adrese

http://service.felk.cvut.cz/courses/36NAN/cware



## Všimněte si:

- Pro přenos informace má zásadní význam **membránový potenciál** (v klidovém stavu záporný).
- Změny membránového potenciálu (do kladných hodnot) jsou reakcemi na podněty.
- Na nadprahový podnět reaguje neuron **akčním potenciálem**, který se axonem šíří konstantní rychlostí a s konstantní amplitudou.
- Membránový potenciál se tedy chová podle pravidla „všechno nebo nic“.



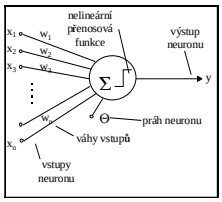
## Umělá neuronová síť

– Za umělou neuronovou síť se obecně považuje taková struktura pro distribuované paralelní zpracování dat, která se skládá z jistého, obvykle velmi vysokého, počtu vzájemně propojených výkonných prvků. Každý z nich může současně přijímat libovolný konečný počet různých vstupních dat. Na další výkonné prvky může předávat libovolný konečný počet shodných informací o stavu svého jediného, avšak velmi rozvětveného výstupu. Každý výkonný prvek transformuje vstupní data na výstupní podle jisté přenosové funkce. Přitom se též může uplatnit obsah jeho lokální paměti.



## Výkonný prvek umělé neuronové sítě McCulloch-Pittsův perceptron

$$y = S(\sum_{i=1}^{N} w_i x_i + \Theta),$$




- $y$ je výstup neboli aktivita neuronu,
- $x_i$ je $i$-tý vstup neuronu vstupů je celkem $N$,
- $w_i$ představuje hodnotu $i$-té synaptické váhy,
- S je (nelineární) přenosovou funkcí neuronu a
- Θ představuje prahovou hodnotu
- (vlastně posunutí).
- **Výraz v závorce - vnitřní potenciál.**



## Pracovní fáze umělé neuronové sítě

- Umělá neuronová síť pracuje v zásadě ve dvou fázích - adaptivní a aktivní.
- V adaptivní fázi se síť **učí** (learning phase),
- v aktivní vykonává naučenou činnost, **vybavuje** (evaluation phase).
- Paměť sítě reprezentují hodnoty synaptických vah na jednotlivých vstupech neuronů.

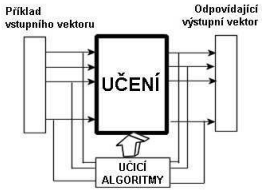


## Učení a jeho typy

– Při **učení s učitelem** se umělá neuronová síť učí srovnáváním aktuálního výstupu s výstupem požadovaným a přestavováním synaptických vah tak, aby se propříště snížil rozdíl mezi skutečným a žádaným výstupem. Metodika snižování rozdílu je určena učicím algoritmem.

– Do **učení bez učitele** není zapojen žádný vnější arbitr a celé učení je založeno pouze na informacích, které samotná síť během celého procesu učení získala.

## Učení sítě






## Kdy je síť naučená?

- Tehdy, když je pro všechny vzory **učicí** množiny (podmnožina množiny vstupních vzorů) splněno zadané kritérium naučenosti formulované např. tak, že
  - chyba sítě je menší než …, nebo že
  - energie sítě je minimální, atd.

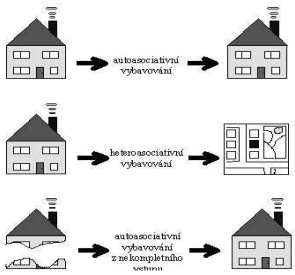


## Vybavování sítě

- Oproti učení, které může trvat velmi, velmi dlouho, je vybavování rychlé. Síť při něm generuje naučenou odezvu. Někdy rozlišujeme
  - autoasociativní,
  - heteroasociativní,
    - nejbližšího souseda,
    - interpolaci
- vybavování.

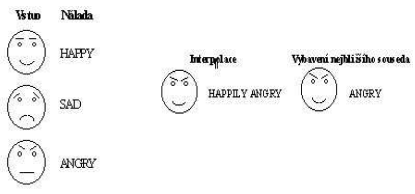


## Auto- a heteroasociativní vybavování






## Heteroasociativní vybavování






## Metody vyhodnocování podobnosti

- Často budeme potřebovat vyhodnotit vzdálenost, nebo řekněme míru podobnosti, mezi dvěma či více vektory, nebo mezi předloženým vzorem a tzv. třídami. Některé možnosti:
  - Eukleidovská vzdálenost,
  - vnitřní součin,
  - blokové vzdálenost,
  - jiné kritérium.

## Podobnost na základě **Eukleidovské vzdálenosti**

$$d_{ij} = \left\| \vec{X}_i - \vec{X}_j \right\| = \left[ \sum_{n=1}^{N} \left( x_{in} - x_{jn} \right)^2 \right]^{1/2}.$$



## Podobnost na základě **vnitřního součinu**

$$\vec{X}_i^T \vec{X}_j = \sum_{n=1}^{N} x_{in} x_{jn}.$$

Vydělíme-li takto vypočtenou hodnotu číslem $\left\| \vec{X}_i \right\| \left\| \vec{X}_j \right\|$, dostaneme kosinus úhlu, který spolu oba vektory svírají.



## Umělé neuronové sítě - časová osa

- 1943 McCulloch, Pitts Perceptron, formální neuron.
- 1948 Hebb Hebbovské učení.
- 1958 Rosenblatt Rosenblattův perceptron.
- 1960 Widrow, Hoff ADALINE.
- 1962 Widrow MADALINE.
- 1966 Ivachněnko GMDH.
- 1969 Minsky, Papert Kniha "Perceptrony".
- 1980 Grossberg ART.
- 1982 Hopfield Hopfieldova síť, energetická funkce.
- 1982 Kohonen SOM - samoorganizující se mapy.
- 1983 Kirkpatrick Simulované žíhání.
- 1985 Ackley, Hinton, Sejnovski Boltzmannův stroj.
- 1985 Parker, Le Cun Backpropagation - zpětné šíření.
- (1974 Werbos)
- 1988 Bromhead, Lowe RBF.



## Ukázka z 2. kapitoly skripta

- **ADALINE** - klasická umělá neuronová síť perceptronovského typu s binárními výkonnými prvky. Jejich váhy jsou nastavitelné a učení probíhá tzv. delta pravidlem.
- **Adaptace** - schopnost umělé neuronové sítě přizpůsobit se. Adaptace může probíhat s učitelem, nebo bez (adaptace samoorganizací). Realizuje se během učení obvykle změnami vah, výjimečně změnami architektury.
- **Aktivační funkce** - obvykle nelineární přenosová funkce neuronu.
- **Back-propagation (zpětné šíření)** - učicí algoritmus vícevrstvých dopředných (nerekurzivních) neuronových sítí. Při něm se chyba výstupní vrstvy zpětně přepočítává do vrstev předchozích (zpětně se šíří) a podle její hodnoty se upravují jednotlivé váhy.
- **Hebbovské učicí pravidlo** - původní učicí předpis pro učení bez učitele. Je analogií průběhu učení v lidském nervovém systému. Přeneseno do umělých neuronových sítí říká, že častější používání toho-kterého spoje posiluje jeho hodnotu váhy. K této základní formulaci existuje mnoho variant.
- **Perceptron** - jednoduchá dopředná síť bez skrytých vrstev. To znamená, že jen jednu vrstvu této sítě lze učit. Klasickou hranicí schopností perceptronu je XOR-problém.