

# Neuronové sítě 1

## Cíl kapitoly :

Seznámení s podněty a logikou výstavby neuronových sítí, jejich hlavními úkoly a způsoby práce. Umět aplikovat tato poznatky a umožnit další a hlubší studium neuronových sítí.

## Klíčové pojmy:

*Informační mohutnost, mozek, myšlení, nepřesné algoritmy, neuron, neuronová síť, simulace, umělá neuronová síť.*

## 1. Úvod

V posledních desítkách let prudce vzrostl zájem o obor výpočtů pomocí neuronových sítí. Tento zájem je podpořen požadavky výpočtů algoritmů, které klasická výpočetní technika není schopna řešit. Podnětem k vytváření umělých neuronových sítí je výskyt menších živočichů, kteří pomocí neuronů dovedou řešit velmi složité úlohy, i které jsou problémem pro velké výpočetní systémy, v reálném čase. Pro řešení jim nevadí vstupní šum a mohou zpracovávat i úlohy s vysokou redundancí dat na vstupu ve stále se vyvíjejícím se světě. Vývoj těchto přírodních neuronových systémů byl u živočichů dán nutností boje o přežití v přírodě. Přesný algoritmus práce přírodních neuronových systémů není doposud znám. Přesto experimentální výsledky na modelech těchto systémů dávají dnes velmi slibné výsledky. Tyto systémy, včetně umělých, dovedou zpracovat velké množství údajů.

## 2. Funkce a účel neuronových sítí

Umělé sítě mají snahu napodobovat strukturu a činnost mozku, který dokáže

- Zjednodušovat
- Zobecňovat
- Používat obecné pro konkrétní úlohy.

Podstatou myšlení je vnitřní informační systém člověka. Lze ho charakterizovat následujícími axiomy

- Myšlení je nejvyšší známá funkce našeho vlastního informačního systému a je hlavním prostředkem pro zajištění naší existence
- Existence a správná funkce vhodného informačního systému je nutnou, i když ne postačující, podmínkou existence, přežití a rozvoje každé reálně existující soustavy, ať již biologické, technické, ekonomické nebo společenské.
- Příslušná soustava musí být schopna přijaté informace zpracovávat a využívat svým informačním systémem.
- Porušení těchto teorémů vede nutně dříve či později k selhání funkce a posléze k zániku příslušné soustavy.

### 3. Význam umělých neuronových sítí

Výhoda neuronových sítí se projevuje zejména při řešení **nepřesných algoritmů**, kde **není kompletní** sada algoritmů pro řešení nebo kde jsou algoritmy **příliš složité** pro matematické formulace problému – řešení je přibližné, nepřesné a zjednodušené. Naopak umělé neuronové sítě (dále UNS) nemají uplatnění v účetnictví, konkrétních exaktních výpočtech a pod.

Hlavní trendy rozvoje UNS jsou v oblastech

- modelování funkce IS živých organismů
- modely UNS
- výzkumu procesu učení, testování a adaptivity
- optimalizace topologie
- predikce časových řad ( v energetice, finančnictví, vojenství, atd.)
- analýza vícerozměrných a složitých signálů
- komprese a kódování
- adaptivní řízení složitých systémů
- systémy pro rozhodování.

Při výzkumu neuronových sítí se uplatňují dva přístupy

- analytický
- syntetický

Analytický přístup zkoumá reálný svět a nachází modely funkcí a metody jejich simulace.(např. funkce paměti, spánku). Výsledkem je i zjištění stupně přiblížení skutečnosti a citlivosti na změny parametrů.

Syntetický přístup je typický pro praktické aplikace UNS. Zjišťuje jak nejrychleji navrhnout strukturu UNS schopné plnit zadané požadavky, jak i fyzicky realizovat a využívat.

Pro zpracování informací je potřeba mít k dispozici databázi dříve uložených informací.

Př.: Proč nejsou neuronové sítě vhodné pro přesné operace?

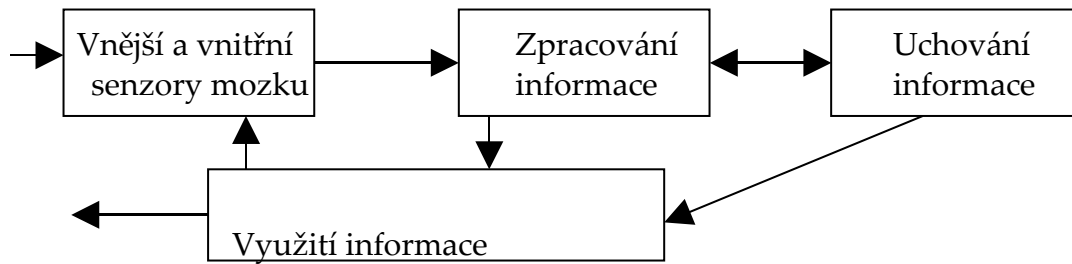
Vysvětli rozdíl mezi analytickým a syntetickým přístupem k řešení problémů.

Proč je při řešení mnoha problémů nutné problematiku zjednodušovat?

Co je to myšlení?

### 4. Biologické základy

Jedním z hlavních podnětů k rozvoji neuronových sítí byl zájem člověka zjistit funkci lidského mozku. Vlastnosti mozku se staly podkladem k vytváření teorií pro umělé neuronové sítě. Je to také důvod k neustálému studiu této problematiky. K popisu umělých neuronových sítí je tedy dobré si osvojit základy činnosti a biologické struktury mozku.

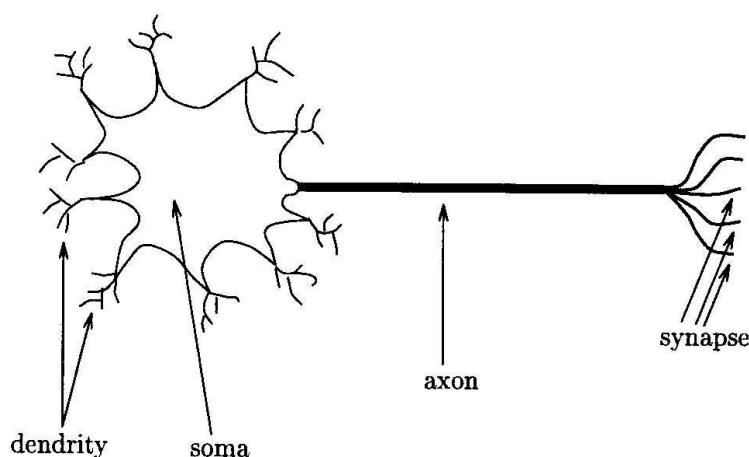


Obr. 4.1 Hrubé blokové schéma mozku

Mozek se skládá z velkého množství druhů specializovaných buněk a subbuněčných organismů, které jsou vzájemně propojeny a u nichž se neustále vyvíjí jak jejich struktura, tak i jejich vzájemné vztahy. Nejdůležitější z nich jsou **neurony**. Jsou to buňky specializované **na přenos, zpracování a uchování informací**. Těchto neuronů je v mozku **40-100 miliard**. Je jich několik druhů a jsou navzájem **propojeny** do velmi složitých **neuronových sítí**. Udává se, že na každý neuron připadá v průměru **10 až 100 tisíc spojení s jinými neurony**, což odpovídá řádově  $10^{14}$  až  $10^{16}$  celkové informační mohutnosti lidského mozku. Pojem informační mohutnost určuje složitost a funkční dokonalost vzájemného propojení neuronových sítí a schopnost jejich adaptivity.

#### 4.1 Biologický neuron

**Biologický neuron** se skládá z těla neboli **somy**, které je velké jen několik



mikrometrů, a z něhož vybíhá několik **tisíc výběžků - dendritů**, které tvoří vstupy neuronu a dále jedno vlákno - **axon**, které **tvoří výstup** neuronu. Axon může, na rozdíl od dendritů, které jsou dlouhé pouze několik

Obr. 4.1.1 Biologický neuron

milimetrů, nabývat délky až okolo **60 cm**. Konec axonu se větví na tzv. **synapse (stykové jednotky)**, které přiléhají na dendrity jiných neuronů a tím tvoří vlastní

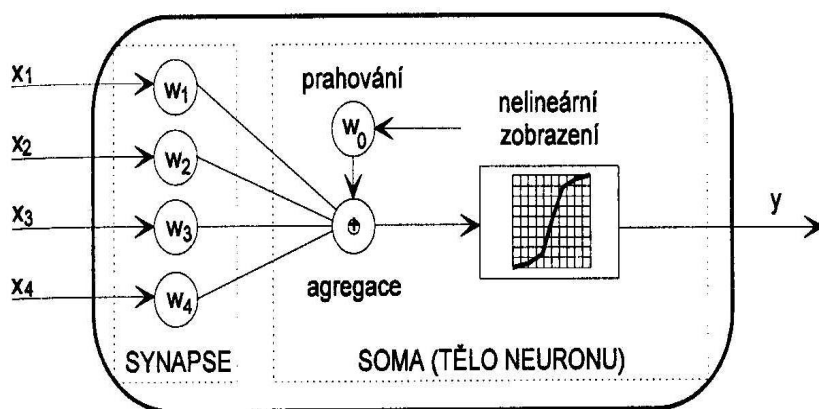
styk jednotlivých neuronů. Synapse jsou jedním z nejdůležitějších prvků ve stavbě mozku i ve struktuře jednotlivých neuronů. Během života neustále **vznikají nové synaptické spoje**. Jejich počet je závislý na procesu učení organismu.

Jednotlivé neurony jsou mezi sebou propojeny do velmi složitých neuronových sítí. Mozek lze chápat jako složitou soustavu různých neuronových sítí. Předpokládáme-li, že na jeden neuron připadá až 100 000 spojení s jinými neurony má mozek asi 10 trilionů spojení ( $10^{16}$ ). Mezi nejvýznamnější části mozku patří neocortex. Je to jedna ze tří částí cortexu, neboli kůry mozkové (neocortex je jeho největší část - 95 % celého cortexu). Zde vytváří neurony vrstevnatou strukturu. Tato struktura umožňuje uskutečňovat náročnější operace nebo paralelní přenos informace. Je známo šest vrstev neocortexu, ve kterých jsou neurony uspořádány do navzájem podobných sloupců propojených příčnými vazbami.

V lidském mozku je průměrně 2 - 3 miliony neuronů na  $1 \text{ mm}^3$ . Denně jich zahyne asi 10000. Přestože se odumřelé neurony neobnovují, udává se, že za 75 let života odumře asi jen 0,2 až 0,5 % celkového počtu neuronů.

Funkcí biologického neuronu je shromáždit elementární informace ze vstupů, čili z výstupů určitých s ním spojených neuronů, zpracovat je a poslat na svůj výstup. Obecně může mít neuron více výstupů (axonové vlákno je na svém konci rozvětveno), přesto se informace zpracovaná neuronem nedělí, což znamená, že každý výstup přenáší stejnou informaci.

#### 4.1.1 Blokové schema neuronu



4.1.2 Blokové schema neuronu

Na obr 4.1.2 jsou označeny  $x_1$  až  $x_N$  vstupní signály z  $N$  spolupracujících neuronů,  $\Sigma$  je sumační funkce,  $f$  je obecně nelineární přenosová funkce,  $y$  je výstupní signál a  $w_i$  jsou váhové činitele reprezentující působení jednotlivých synapsí. Tento model neuronu uvedli již v roce 1943 pánové McCulloch a Pitts a jeho činnost vyjádřili vztahem:

$$y = f \left( \sum_{i=1}^N w_i x_i \right) \quad (1)$$

Velký význam při zpracování informace v neuronu má **membrána** axonu (10 až 30nm) neuronu, která se skládá ze dvou vrstev molekul - **lipidů**. Mezi těmito vrstvami jsou bílkovinné vnitromembránové proteiny, které tvoří tzv. **iontové pumpy**. Existují dva druhy membrán a to vodivá a transmisní. Vodivá membrána je rozprostřena po povrchu axonu. Tato membrána (čili i celý axon) je trvale polarizovaná. V klidovém stavu je rozdíl elektrického potenciálu mezi jejím vnitřkem (-) a vnějškem (+) asi 70 mV. Je to způsobeno přečerpáváním kladných iontů  $\text{Na}^+$  na povrch membrány a záporných iontů  $\text{K}^-$  do vnitřní vrstvy. **Vodivá membrána**, která pokrývá celý axon, je schopna se při zvýšení elektrického potenciálu uvnitř somatu neuronu nad určitou prahovou úroveň depolarizovat. Tak se vytvoří elektrický impuls šířící se po axonu jako potenciálová vlna (vzruch) rychlostí až do 120 metrů za sekundu. Zajímavé je, že při šíření nedochází ke snižování amplitudy impulsu. Jakmile tato vlna dorazí k synapsi, uvolní v místě jejich styku s dendrity tzv. chemické přenašeče, které způsobí lokální změnu polarizace transmisní membrány. **Transmisní membrána** pokrývá zbývající část neuronu, což jsou soma a dendrity. Tím přenesený impuls vyvolá opět potenciálovou vlnu, která se šíří dendrity až k somatu neuronu. Takto se v neuronu může šířit celá skupina potenciálových vln získaných od různých neuronů. Potenciálové vlny se navzájem sčítají nebo odčítají (tj. působí polarizačně nebo depolarizačně) v závislosti na druhu **synapsí**, které mohou být buď **excitační** (vzrušivé) nebo **inhibiční** (tlumivé). Soma následného neuronu pak reaguje podle jejich výsledného působení.

Neuron je aktivován, jestliže souhrn vstupních podnětů překročí jistou prahovou úroveň. Pokud prahovou úroveň označíme  $\mu$ , můžeme vztah (1) nahradit vztahem:

$$y = f \left( \sum_{i=1}^N w_i x_i - \mu \right) \quad (2)$$

Překročením této úrovně dojde k depolarizaci těla a k vyslání vzruchu. Pak se membránový potenciál vrátí skokem na původní úroveň. **Po nějakou dobu není neuron citlivý na žádné podněty**. Po uplynutí této doby se začne potenciál opět přibližovat prahové hodnotě. Tento děj se neustále opakuje. Tím neuron začne generovat celý sled impulsů. Jeho obvyklá frekvence je **asi 250 až 1250** impulsů za sekundu a to podle toho, o kolik je překročena prahová hodnota. Obecně prahová úroveň nemusí být v čase konstantní. Tato úroveň by měla být závislá na velikosti působících signálů, na čase a na řadě dalších vlivů. Přesto je u většiny modelů považována za konstantní.

**Informace je tedy přenášena frekvenční modulací** posloupností impulsů. Amplituda a tvar impulsů se mění jen nepatrně, avšak výrazně se mění jejich frekvence. Informace může být nesena také změnou rychlosti šíření vzruchu, která se mění v rozpětí od 0,5 do 2 m/s.

V neuronových sítích mají signály zejména charakter sledu impulsů. Tyto impulsy také výrazně mění frekvenci, rychlost šíření (do 2m/s) a také mohou měnit amplitudu a tvar. Signály procházející podél axonů mají výraznou frekvenční modulaci. Kapacita axonu je pro požadované množství informací nedostatečná, a tak se přenos děje paralelně. Přenesený signál se v postsynaptické části regeneruje, a tak se signál dál šíří nezkreslený.

#### 4.1.2 Synapse

Informace se v neuronu zpracovává především v somatu. Zpracovanou informaci přenáší axon na výkonný orgán nebo na jiný vstup ji přenášejí synapse. Činnost synapsí je tedy pro funkci zásadní.

Synapse působí nejen jako mezineuronová rozhraní, ale také přispívají na vytváření paměťových stop. Na funkci neuronu má tedy vliv topologie synapsí (tj. vzájemné propojení mezi vstupními a výstupními branami, obvykle popisované řídkou maticí), přenosové vlastnosti (předávání množství z přijaté informace je proměnné s časem, frekvencí a je charakterizováno váhovými koeficienty synaptické plasticity), funkční vlastnosti (pamatování - možnosti změn koeficientů s procesem učení) atd.

Synapse mohou být

- chemické
- elektrické
- mechanické

**Chemické synapse** jsou velmi složité a zajišťují přenos po větších kvantech. Dělíme podle kvality působení podnětu na polarizaci postsynaptické membrány na

- **exitační** - podněty, které působí exitačně způsobují depolarizaci membrány, tj. snižují její práh dráždivosti (membrána se stává citlivější na podněty)
- **inhibiční** - zvyšují práh dráždivosti - způsobují hyperpolarizaci

**Elektrické synapse** zajišťují přenos pomocí iontů a představují přenos informace pomocí elementů - bitů.

**Mechanické synapse** zajišťují přenos přímo stykem membrán.

#### 4.2 Paměti

V lidském mozku se uplatňují 3 zásadní druhy paměťových mechanismů.

- **krátkodobá paměť** se uskutečňuje **cirkulací** vzruchů po uzavřených okruzích neuronů
- **střednědobá paměť** je uskutečňována tak, že při několikanásobném průchodu vzruchu přes některé synapse v neuronových obvodech (zúčastněných pro krátkodobou paměť) se v těchto synapsích vytváří **ribonukleová kyselina**. Ta představuje stopy delší existence
- **dlouhodobá paměť** je uskutečňována otiskem struktur molekul těchto kyselin do bílkovinných struktur v jádře neuronu.

### **Kontrolní otázky:**

Proč zpracovaná informace v mozku je přenášena do výstupních orgánů těla a proč je uchovávána?

Zpracování informace v somě je vedena axonem k synapsím. Mohou tyto synapse obsahovat různé informace? A proč?

Vysvětlete princip bezztrátového přenosu informace v axonech.

### **Shrnutí:**

Neuronové sítě se využívají zejména u nepřesných a velmi složitých výpočtů, kde je možný odhad a dopouštět se určitých zjednodušení. Jsou založeny na funkci biologických neuronových sítích, které do jisté míry simulují.

K pochopení těchto sítí je tedy v této kapitole popsán biologický neuron a jeho činnost.

Na tuto kapitolu navazuje další část neuronových sítí popisující umělé neurony a následovně vytváření neuronových sítí.

Znalosti z této kapitoly jsou důležité pro pochopení umělých neuronových sítí.

Některé údaje o mozku a neuronech jsou zde použity jen pro dokreslení představy o činnosti a vývoji mozku.

### **Literatura**

Mirko Novák: Neuronové sítě a informační systémy živých organismů; Grada  
Diplomové práce PU a MU.

Ing. Lubor Košťál, Mgr. Dana Otevřelová, PhD: Neuronové sítě – skripta pro SŠ  
informačních technologií