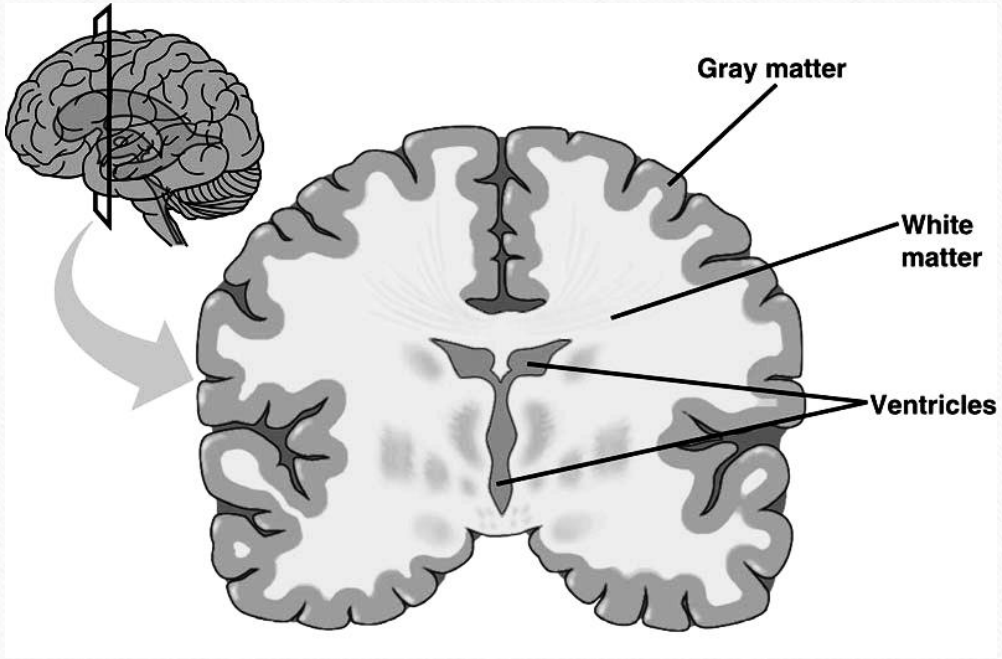
Historie a Vývoj Neuronových Sítí

Miroslav Hlaváč

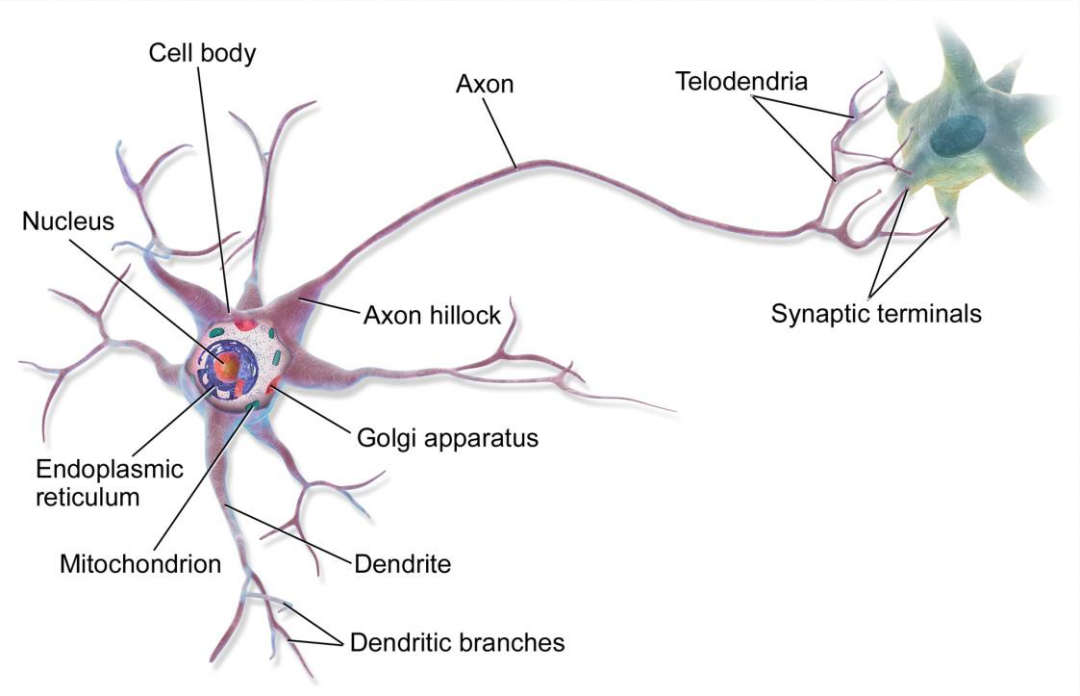
Co je to neuron?

- Základní struktura lidského mozku
- Lidé se snažili přijít na funkci mozku tisíce let
- Nejmenší jednotka se nazývá neuron – nervová buňka
- Mozek člověka je složen ze 100 miliard neuronů ± několik miliard



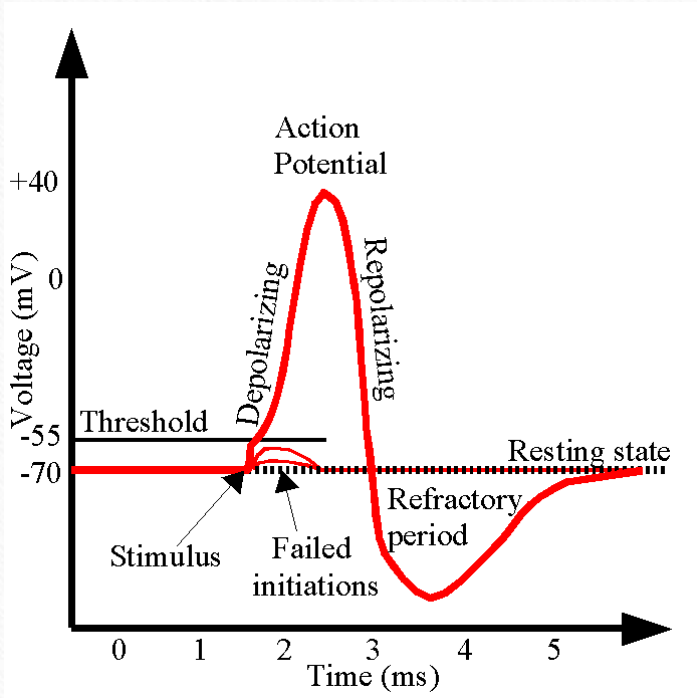
Neuron

- Neuron je speciální typ buňky schopné vést, zpracovávat a vysílat signál
- Poprvé popsán roku 1835 (Jan Evangelista Purkyně)
- Základ tvoří
  - Jádro
  - Axon
  - Dendrity



Jak funguje biologický neuron?

- Dendrity slouží jako příjemce vzruchu
- V jádře se akumuluje přijímaný vzruch
- Po překročení prahu dojde k přenosu vzruchu po axonu do dalších neuronů
- Funkce ve smyslu „všechno nebo nic“

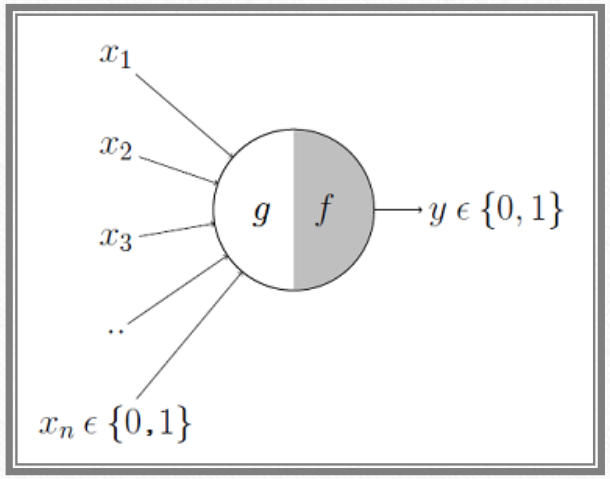


Co je to umělá neuronová síť?

- Struktura složená z neuronů (jejich matematické aproximace)
- Topologie inspirovaná lidským/zvířecím (obecně biologickým) mozkem
- Hlavní rozdíl – funguje synchronně
- Základní kámen moderních metod umělé inteligence

První pokusy a popis funkce

- 1943 – Warren McCulloch (neurofyziolog) a Walter Pitts (matematik) – simulace několika neuronů pomocí elektrických obvodů, první popis a odhad funkce
  - Založeno na prahové logice, vedlo k rozdělení na výzkumu na biologické procesy a AI
  - Navazující práce vedla k prozkoumání spojení mezi konečnými automaty a neuronovými sítěmi

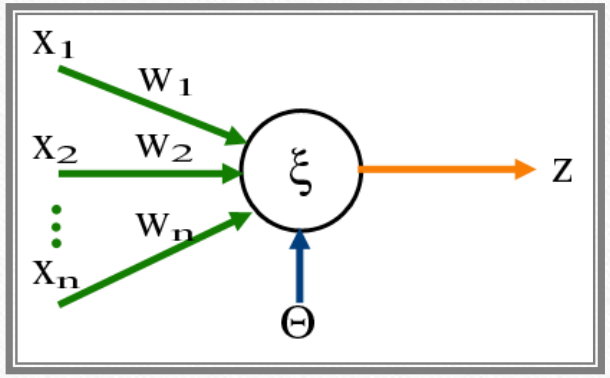


První pokusy a popis funkce

- 1949 – Donald O. Hebb – V knize The Organization of Behaviour prezentován návrh -> spojení mezi neurony se zesiluje pokaždé když je použito
  - Hebb shrnul všechna dostupná zjištění o funkci mozku do jedné teorie
  - Hebbovo pravidlo – „Neurons that fire together wire together“
- Dochází k formulaci konceptů předcházejících neuronovým sítím:
  - Prahová logika – převod spojitého vstupu na diskrétní výstup
  - Hebbovké učení – učení na základě plasticity biologických neuronů – tedy na základě Hebbova pravidla

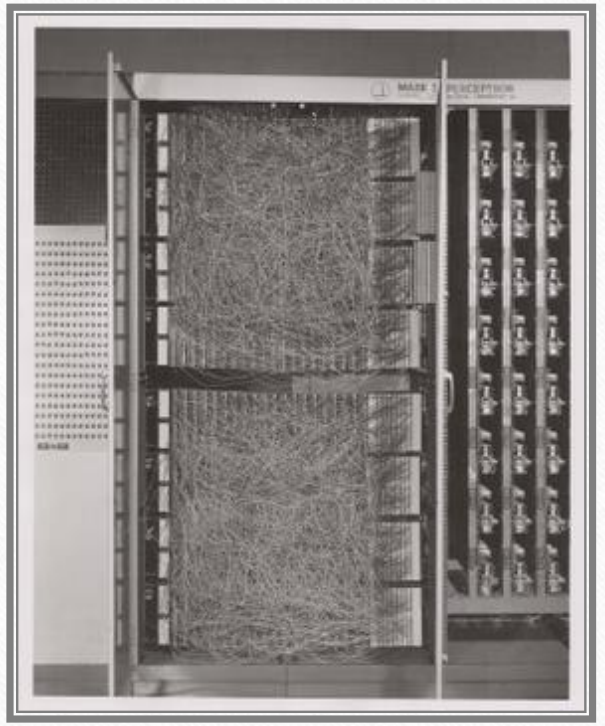
První model neuronu - Perceptron

- Frank Rosenblatt (psycholog) v roce 1958
- Vytvořen při pokusech na mouše – pozoroval jak oko mouchy ovládá únikovou reakci
- Výsledkem výzkumu – systém založený na modelu neuronu od McCulocha a Pittse – Mark I Perceptron
- Perceptron – počítá váženou sumu vstupů, odečítá práh a na výstupu má jednu ze dvou možných hodnot – {0;1}
- $w_i = w_i + \eta(y_{true} - y_{predicted})x_i$



První strojová implementace
Mark I Perceptron

- Připojena na kameru 20x20 pixelů
- Váhy implementovány pomocí potenciometrů
- Změna váhy probíhala změnou odporu potenciometru pomocí elektromotoru



Výsledek experimentu s Mark I Perceptronem

- Došlo ke zjištění, že jednovrstvý perceptron dokáže oddělit pouze lineárně separabilní třídy
- Z dalších pokusů bylo zjištěno, že tento typ sítě není vhodný pro řešení problému XOR (exclusive or)
- Tento „neúspěch“ způsobil stagnaci vývoje neuronových sítě až do začátku osmdesátých let

První použití pro reálný problém

- 1959 – ADALINE a MADALINE – Stanford University – Widrow and Hoff
- (**M**ultiple) **ADA**ptive **LIN**ear **E**lements (Previously **ADA**ptive **LI**near **NE**uron)
- Založeno na modelu neuronu od McCullocha a Pittse
  - Úprava vah je při trénování na rozdíl od perceptronu McCullocha a Pittse založena na vážené sumě předtím než projde aktivační funkcí
- Adaptivní filtr sloužící k odstranění ozvěny v telefonních hovorech
- MADALINE byla první sítí aplikovanou na reálný problém
- Tato neuronová síť se stále komerčně využívá

První UI zima

- Výpočetní a datové kapacity v polovině 20 století nebyly dostatečné pro dostatečné škálování velikosti neuronových sítí a proto dochází k úpadku v použití i dalšího výzkumu
- 1969 – Minski a Papert – Kritika Peceptronu a jeho neschopnosti řešit nelineární problém – hlavně XOR způsobila období ochlazení zájmu a financování projektů zaměřených na neuronové sítě

80. léta

- Navržen algoritmus zpětné propagace – klíčový algoritmus pro trénování vícevrstvých neuronových sítí
- Vícevrstvý perceptron – složen ze vstupní vrstvy, několika skrytých vrstev a výstupní vrstvy
- Tyto dva objevy umožnili svojí kombinací řešení problému XOR za použití neuronové sítě

Další vývoj

- 1982 – John Hopfield – prolomil ledy prezentací článku o vytvoření užitečné zařízení založeného na neuronových sítí
  - Inovace spočívala v představení obousměrných spojení mezi neurony
  - Následováno Americko-Japonskou konferencí o Využití Neuronových Sítí
- 1985 – První velká mezinárodní konference (IEEE) o neuronových sítích – 1800 účastníků

Druhá UI zima (±1990)

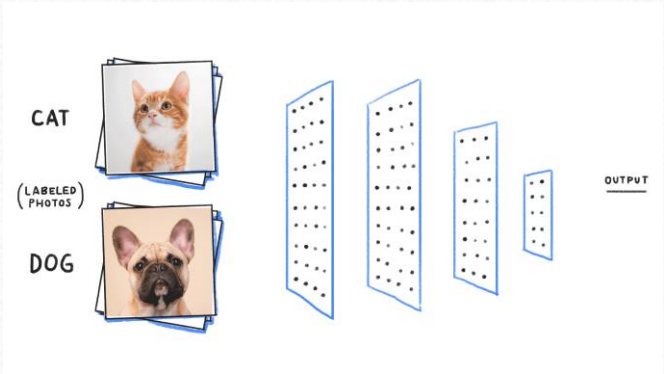
- Způsobena velkým vývojem v oblasti teorie a neschopností dobového hardwaru tento vývoj převést do praxe
- Druhá vlna oslabení zájmu a financování vývoje neuronových sítí
- Přesun zájmu na jiné algoritmy jako SVM
- Přesto některé skupiny pokračovaly ve vývoji
- 1997 – Vytvoření speciálního typu rekurentní neuronové sítě – Long Short-Term Memory (LSTM)
- 1998 – článek Gradient-Based Learning Applied to Document Recognition

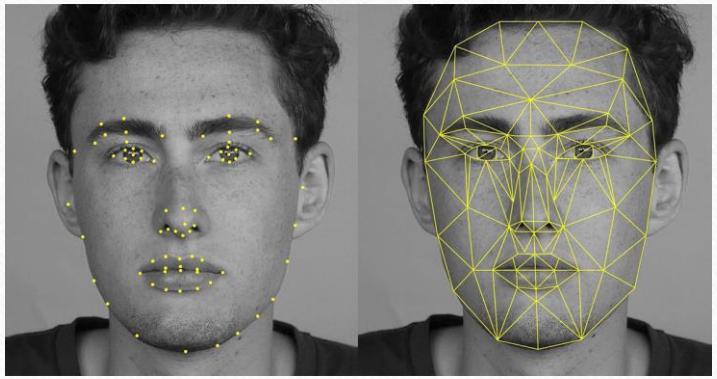
Další vývoj

- 2012 – První významné umístění neuronové sítě v soutěži ImageNet
  - AlexNet využívá konvoluční vrstvy v úloze klasifikace obrázků do 1000 tříd a končí na druhém místě
  - Od té doby dominují neuronové sítě v této soutěži každý rok
- 2017 – Attention is All You Need – Architektura transformeru
- 2020 – ImageNet přechází na klasifikaci do 25000 tříd namísto 1000

Dvě základní úlohy

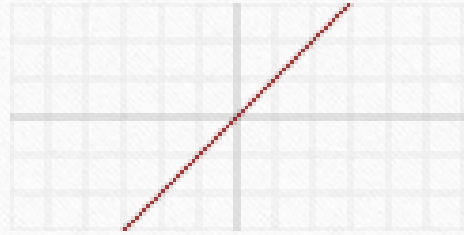
- Klasifikace
  - Snaha o rozdělení prostoru vstupních dat do tříd podle daného kritéria
  - Typický příklad – obrázky zvířat
- Regrese
  - Snaha o odhad konkrétních hodnot
  - Typický příklad – hledání klíčových bodů, odhadování hodnoty v sekvenci

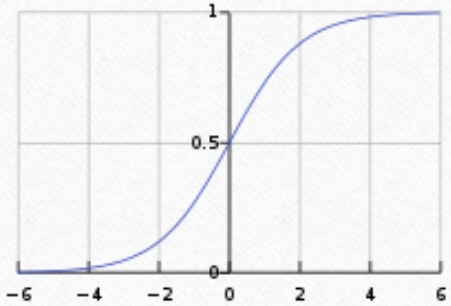


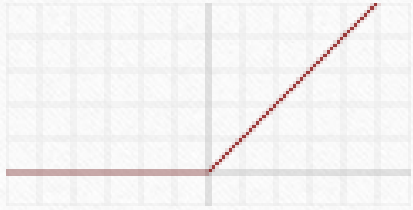


Současný model používaný pro výpočty

- Původní perceptron následovaný různými aktivačními funkcemi
- Aktivační funkce:
  - Lineární
  - Binární
  - Sigmoidální
  - ReLU

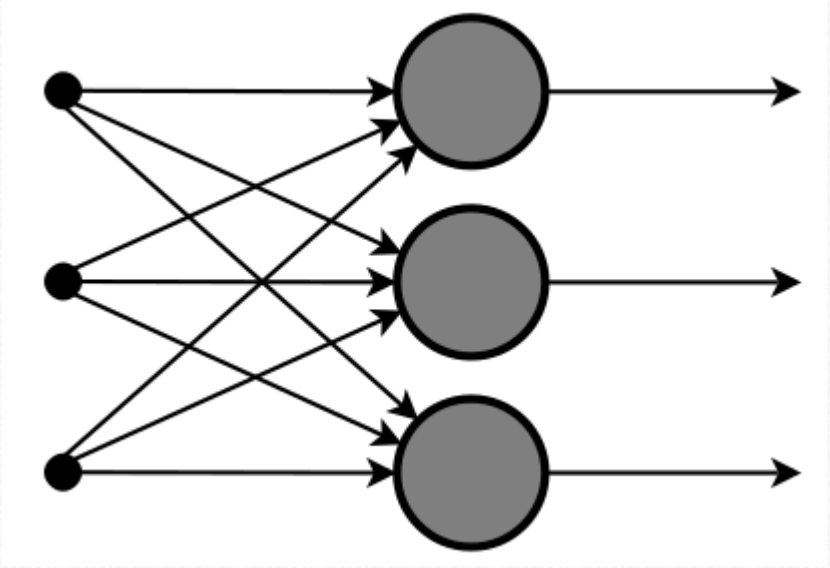






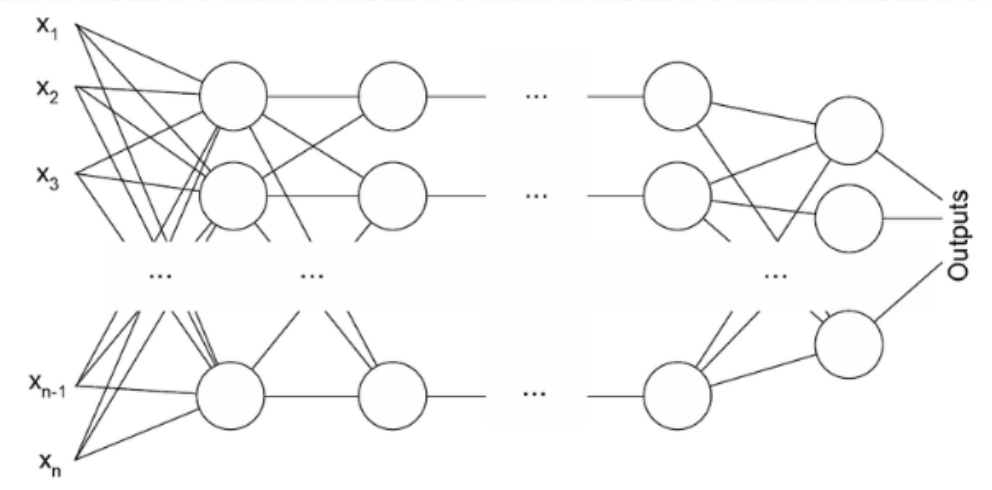
Typy neuronových sítí

- Dopředná síť
  - Průchod směrem odpředu dozadu
  - Základní postup při tvorbě neuronových sítí
  - Aplikace pro klasifikační problémy
  - Relativně lehké pro trénování



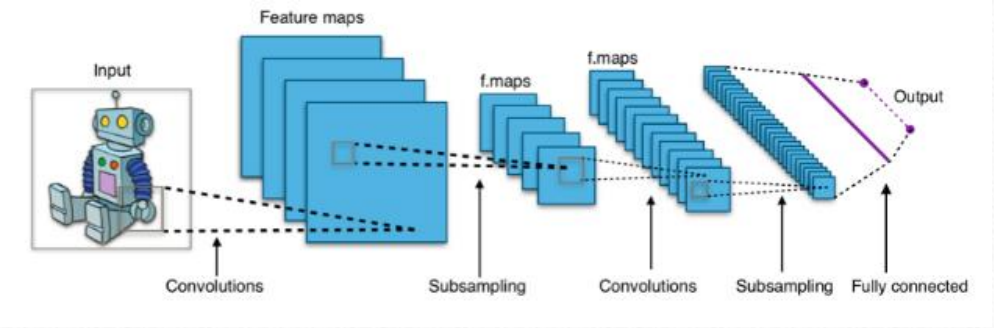
Typy neuronových sítí

- Několika vrstvý perceptron(MLP)
  - Má tři a více vrstev
  - Použití pro nelineární klasifikaci
  - Použití nelineárních aktivačních funkcí
  - Typické použití při rozpoznávání řeči nebo pro překlad textu



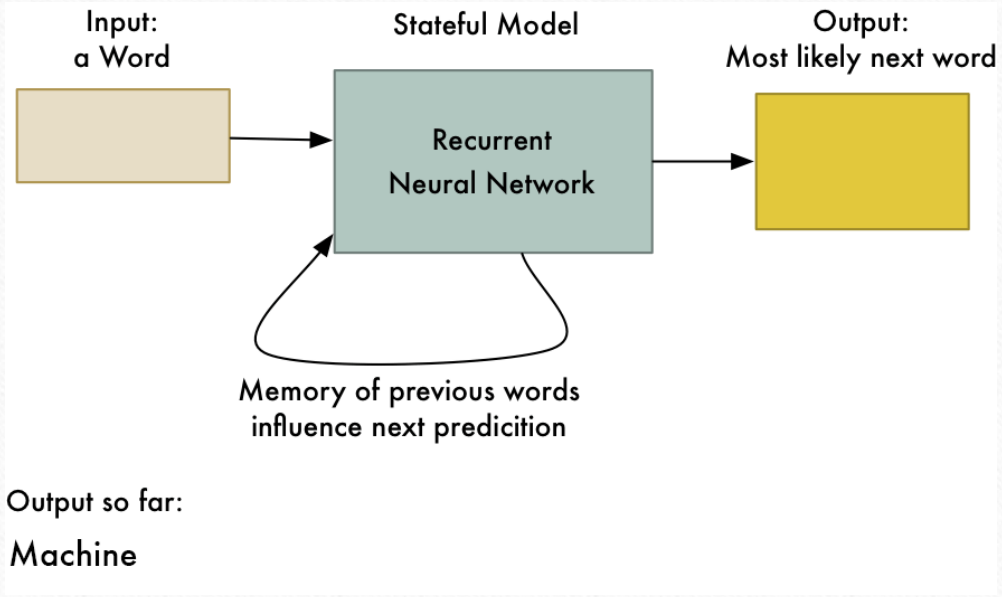
Typy neuronových sítí

- Konvoluční síť (CNN)
  - Probíhá konvoluce vstupu s jádry konvoluční vrstvy
  - Tento typ sítě se používá pro zpracování obrazových a video dat nebo také pro zpracování přirozeného jazyka (natural language processing)



Typy neuronových sítí

- Rekurentní neuronové sítě
  - Obsahují vnitřní stav (lze si představit jako formu paměti)
  - Dochází k zachování informace o předchozích vstupech a jejich propagaci přes síť
  - Vhodné k analýze sekvenčních dat, kde lze pozorovat určitou závislost
  - Používáno ke zpracování řeči



Typy neuronových sítí

- Transformer
  - Založeno na principu attention mechanizmu
  - Jedná se o jakési zaměření pozornosti při trénovacím procesu, které umožní síti se lépe naučit kontext

Typy neuronových sítí

- Hluboké neuronové sítě
  - Složeny kombinací předchozích typů
  - Desítky až stovky po sobě následujících vrstev
  - Hlavní výhody sítí:
    - Zpracování dat v reálném čase
    - Možnost generalizace
    - Zpracování úloh na které jsou ostatní přístupy krátké
  - Hlavní nevýhody sítí
    - Potřeba obrovského množství dat pro trénování
    - Neschopnost určit vnitřní závislosti – nevíme jak síť dojde k výsledku
    - Trénování trvá velmi dlouho

Typy neuronových sítí

- Generativní sítě
  - Založeny na myšlence generativního modelu – statistický model z trénovacích dat
  - Síť se naučí generovat nové instance spadající do prostoru množiny trénovacích dat
  - Existuje více přístupů:
    - Variační Autoenkodéry (VAE)
    - Generativní Adversariální Modely (GAN)
    - V současnosti například často zmiňovaný model GPT – Generativní Předtrénovaný Transformer – verze 3

Jak se neuronová síť učí?

- Vše začíná náhodnou inicializací vnitřních parametrů sítě
- Učení s učitelem
  - Síti jsou předkládána vstupní data a zároveň požadovaný výstup
  - Probíhá aktualizace vnitřních parametrů tak, aby sít pro daný vstup produkovala požadovaný výstup
  - Algoritmus Backpropagation – zpětná propagace chyby od výstupu směrem ke vstupu
  - Optimalizace Gradientními metodami

Algoritmus zpětné propagace

- Na vstup sítě se přiloží jeden trénovací vzor – například obrázek
- Vypočte se odezva sítě – dostaneme výstup
- Výstup se porovná s požadovaným výstupem (např. rozdíl mezi výstupem a informací od učitele) – výsledkem je chyba (také ztráta - loss)
- Na základě chyby vypočteme postupem od poslední vrstvy zpátky směrem k té první aktualizace vah a prahů pro jednotlivé neurony

Adversariální trénování

- Založeno na principu generátoru a diskriminátoru bojujících mezi sebou
  - Generátor se snaží vygenerovat výstup, který bude co nejvíce podobný datům z trénovací množiny
  - Diskriminátor se snaží rozeznat generovaná data od těch reálných (trénovacích)
  - Tyto dvě sítě se střídavě zlepšují a vzniká tak generativní model, který velmi přesně napodobuje data z trénovací množiny

Jak se programují neuronové sítě?

- Většina vědeckých prací momentálně využívá Python
  - Pro urychlení výpočtů se využívají grafické a výpočetní adaptéry Nvidia s podporou výpočtů v jazyce CUDA
- Existuje množství různých frameworků
  - Tensorflow – Google
  - Torch – PyTorch
  - CNTK - Microsoft

TensorFlow Playground

- https://playground.tensorflow.org/
- https://teachablemachine.withgoogle.com/

Děkuji za pozornost!