

Neuronové sítě v dnešním světě ¹

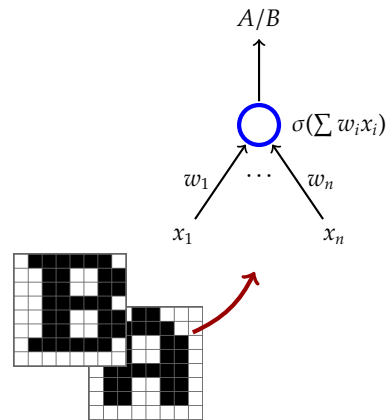
Tomáš Brázdil ²

Umělá inteligence stále hlouběji proniká do mnoha expertních oblastí od pokročilé analýzy snímků všeho druhu přes strojový překlad mezi světovými jazyky až po řízení a robotiku. Velké mezinárodní firmy, jako například Google, Microsoft nebo Amazon, investují nemalé množství finančních prostředků do vývoje metod strojového učení. Panuje podezření, že uměle inteligentní systémy v brzké době nahradí lidskou práci v mnoha oblastech.

Zásadním modelem, který v současné době prodělává již několikátou renesanci, jsou umělé neuronové sítě. Tento původně biologicky motivovaný model je z matematického hlediska velice jednoduchý. Jeho základním stavebním kamenem jsou umělé neurony (viz. Obrázek 1), primitivní výpočetní jednotky, které transformují vstupní hodnoty x_1, \dots, x_n na výstupní pomocí váženého součtu a aplikace typicky jednoduché nelineární funkce σ . Příkladem může být rozpoznávání znaků: Vstupní obrázek znaku je zakódován do číselného vektoru (např. jako vektor stupňů šedi pixelu po pixelu), výstupní hodnota neuronu poté kóduje hodnotu znaku (zde např. může být $0 = A$ a $1 = B$).

Neurony si mohou navzájem předávat vstup/výstupní hodnoty a lze je tedy spojovat do složitějších sítí (viz. Obrázek 2).

Neuronové sítě představují extrémně silný výpočetní mechanismus, jsou schopny aproximovat (téměř) libovolné funkce a lze pomocí nich implementovat libovolný algoritmus (jejich výpočetní schopnosti jsou ekvivalentní Turingovým strojům). Navíc je možné je „programovat“ pomocí metod strojového učení. Tedy zjednodušeně řečeno, ukážete jim, jak danou úlohu typicky řešíte a ony se to jednoduše naučí od vás. Například jim můžete ukazovat obrázky rukou psaných číslic společně s informací o hodnotách těchto číslic. Když takto natrénované síti ukážete nový obrázek rukou psané číslice, můžete si být téměř jisti, že odpoví správnou hodnotou. Z technického hlediska se jedná o aplikaci překvapivě jednoduchých metod numerické optimalizace pro hledání vhodných vah jednotlivých neuronů.



Obrázek 1: Umělý neuron.

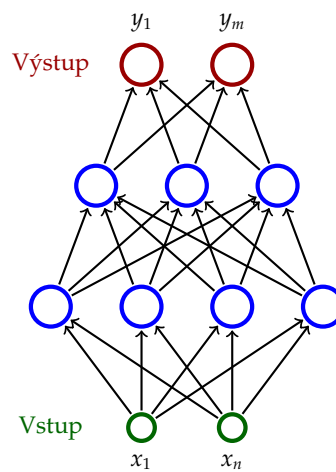
¹příspěvek pro konferenci Technického muzea v Brně „Od strojového kódu k programování neuronových sítí“ v září 2018 a pro web prog-story.technicalmuseum.cz

²Fakulta informatiky, Masarykova univerzita

Trocha historie

Jeden z prvních umělých neuronů vznikl ve spolupráci neurovědce Warrena McCullocha a logika Waltera Pittse. Jejich cílem bylo pochopit schopnost mozku vykazovat komplexní aktivity prostřednictvím relativně jednoduchých buněk, kterými jsou neurony. Jejich neuron byl velmi primitivní, pracoval například pouze s diskrétními vstup/výstupními hodnotami. Důležitým milníkem byla práce týmu Franka Rosenblatta v padesátých letech, jejímž výsledkem byla hardwarová implementace umělého neuronu, který je koncepčně velmi blízký neuronům používaným dodnes. Důležitým prvkem Rosenblatovy práce byl učící algoritmus, jehož konvergenci bylo možné matematicky dokázat, a který byl též součástí hardwarové implementace. Celý systém byl předveden veřejnosti, která měla poprvé možnost shlédnout rozpoznávání obrazu pomocí umělé neuronové sítě.

Koncept neuronových sítí vyvolal v 60. letech velkou vlnu zájmu. Objevovala se fantastická tvrzení o blízkosti doby, v níž bude existovat funkční umělý ekvivalent mozku apod. S tímto přišel první překotný vývoj neuronových sítí, vznikaly firmy nabízející jejich implementace a do dané oblasti výzkumu byly investovány nemalé peníze. Bohužel vzápětí přišla studená sprcha ve formě objektivních studií hodnotících stav dané problematiky. Například slavná kniha „Perceptrons: an introduction to computational geometry“ od autorů Minského a Papperta, která vyšla v roce 1969, ukazovala zásadní limity tehdejších (i dnešních) sítí a bývá (spíše neprávem) označována za viníka úpadku zájmu o neuronové sítě v následujících letech. Nezájem o neuronové sítě přetrvával až do poloviny let osmdesátých.



Obrázek 2: Vícevrstvá neuronová síť.

V roce 1986 byl konečně publikován dostatečně vlivný článek obsahující algoritmus pro efektivní trénink velkých vícevrstevných sítí (tzv. zpětná propagace). Neuronové sítě se opět dostaly do popředí zájmu, byly aplikovány v nejrůznějších oblastech, počínaje rozpoznáváním obrázků po pokusy se strojovým překladem, a bylo pro ně dokázáno mnoho pěkných teoretických výsledků. Nicméně přes veškerá pozitiva stále platilo, že trénink dostatečně velkých a hlubokých sítí nebyl relizovatelný na tehdejší hardwaru. Navíc neuronové sítě mají jeden zásadní defekt, a to obtížnou interpretovatelnost natrénovaných sítí. Je zkrátka téměř nemožné podchytit, proč vůbec natrénovaná síť řeší danou úlohu. Vzhledem k tomu, že tehdejší sítě nebyly řádově lepší než ostatní přístupy ke strojovému učení,

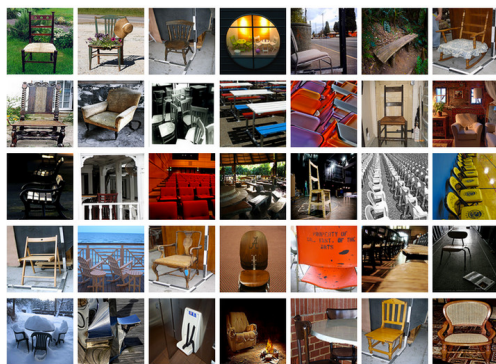
dočkaly se kolem roku 2000 dalšího poklesu zájmu.

Nicméně přes veškeré nesnáze někteří neohrožení vědci pokračovali ve výzkumu tohoto zavrhaného modelu. Výsledkem byl mimo jiné článek uveřejněný v roce 2006 v *Science*, jednom z neprestížnějších vědeckých časopisů vůbec, který popisoval architekturu hluboké neuronové sítě, již bylo možné trénovat efektivně. Na tuto práci začalo navazovat stále více studií, postupně se ukázalo, že tak složitý algoritmus není potřeba, stačí pouze mírně upravit staré metody a nechat je trénovat obrovské sítě na extrémně výkonném hardwaru. Tímto hardwarem se překvapivě staly grafické karty, vyvíjené již dlouhou dobu pro hraní náročných počítačových her. Tým profesora Adama Coatese ze Stanfordské univerzity ukázal v roce 2012, že 1000 počítačů, které firma Google použila pro trénink velké hluboké sítě, lze nahradit několika levnými kartami v bedně o velikosti ledničky.

Aktuální stav a zejména rozpoznávání obrazu

V dnešní době se vývoj neuronových sítí ubírá několika směry. Za hlavní oblasti lze označit rozpoznávání obrazu, zpracování textu (zejména strojový překlad) a tzv. posilované učení v řízení. Ve všech těchto oblastech došlo k dechberoucímu vývoji. Například neuronovými sítěmi podpořený strojový překlad způsobil nedávno skokové zlepšení systému Google Translate. V oblasti řízení a strategického uvažování je velkým výsledkem systém AlphaZero, který je schopen se během několika desítek hodin naučit hrát stolní hru GO způsobem, který je schopen porážet velmistry v této hře (šachy se dají naučit během pár hodin na podobné úrovni, to je prostě trivialitka).

Nicméně hlavní oblast, v níž jsou neuronové sítě úspěšné, které navíc vděčí za svoji renesanci a která jim umožnila přežít nejhorší období, je zpracování obrazu. V oblasti zpracování obrazu také došlo k jednomu z průlomových výsledků, kterým bylo drtivé vítězství v soutěži strojového rozpoznávání obrazu „ImageNet Large Scale Visual Recognition Competition“. Podívejme se detailněji na onu soutěž. Soutěží se v rozpoznávání obrázků, které v

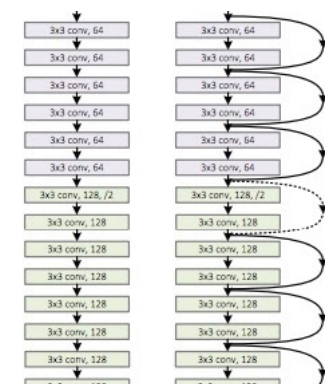


Obrázek 3: Židle (databáze ImageNet)

podstatě nejsou nikterak předzpracovány (viz. Obrázek 3³).

³Deep Residual Learning for Image Recognition, He et al, IEEE, Proceedings of CVPR 2015

Tréninková sada pro soutěž obsahuje 1 200 000 obrázků, na nichž jsou objekty z tisíce kategorií (jenom samotné chystání takové sady bylo vědeckým úkolem, který nebylo vůbec snadné vyřešit). Hlavní kategorii, jejíž výsledky se dostaly do populárního tisku, byla tzv. top-5⁴ kategorie. Tehdy v roce 2012 síť AlexNet snížila rekordní chybu klasifikace z 26.2 % na 15.3 %. A pak již rekordy pokračovaly v rychlém sledu. Například síť ResNet (viz. Obrázek 4) byla se svými 152 vrstvami schopna snížit chybu na 3.57 % v roce 2015.



Obrázek 4: Část sítě ResNet od MS Research

V dnešní době je chyba pod 3 % a soutěž tedy není pro další vývoj v oblasti strojového učení zajímavá.

Samozřejmě vývoj není tažen jen soutěžemi, ale i reálnými aplikacemi. Zde je samozřejmě možné zmínit projekt samořiditelných vozidel, například Waymo, v němž hraje rozpoznávání snímků pomocí neuronových sítí zásadní roli. Rozpoznávání obrazu lze samozřejmě využít i v jiných oblastech, jako například identifikace osob z bezpečnostních kamer (a rozpoznávání „rizikových“ aktivit). Strojové učení a statistické metody mají již dlouho místo v oblasti zpracování nejrůznějších medicínských dat, např. snímky z magnetické rezonance, vyšetření krevního obrazu atd.

Neuronové sítě budou v nejbližší době prodělávat další bouřlivý rozvoj. Je ovšem nutné si stále uvědomovat jejich limity, z nichž některé jsem zmínil výše v textu. Podstatné je, že umělá inteligence postavená na neuronových sítích se chová velmi odlišně od lidské. Například je známo, že chyby v rozpoznávání obrazu mohou být extrémně „nehumánní“, člověk ani nepozná, proč neuronová síť různě klasifikovala dva téměř stejné obrázky. Pokud budeme k neuronovým sítím přistupovat s tímto vědomím, můžeme se dočkat fantastických aplikací v celé škále oborů.

⁴Síť vybrala z tisíce možných odpovědí pět nejpravděpodobnějších a uspěla, pokud správná odpověď byla mezi těmito pěti.