

Slovenská technická univerzita v Bratislave
Fakulta informatiky a informačných technológií

tmp

Patrik Beka

Modelovanie ľudskej vizuálnej pozornosti metódami počítačového videnia a umelej inteligencie

Diplomová práca

Študijný program: Inteligentné softvérové systémy

Študijný odbor: Inteligentné softvérové systémy

Miesto vypracovania: Ústav počítačového inžinierstva a aplikovanej informatiky,
FIIT STU, Bratislava

Supervisor: doc. Ing. Vanda Benešová, PhD.

Máj 2018

ČESTNÉ PREHLÁSENIE

Čestne vyhlasujem, že som bakalársku prácu vypracoval samostatne, na základe konzultácií a štúdia odbornej literatúry, ktorej zoznam som uviedol na príslušnom mieste.

.....

Patrik Beka

POĎAKOVANIE

Anotácia

Slovenská technická univerzita v Bratislave

FAKULTA INFORMATIKY A INFORMAČNÝCH TECHNOLOGIÍ

Študijný program: Inteligentné softvérové systémy

Autor: Patrik Beka

Diplomová práca: Modelovanie ľudskej vizuálnej pozornosti metódami počítačového videnia a umelej inteligencie

Vedúci práce: doc. Ing. Vanda Benešová, PhD.

Máj 2018

Annotation

Slovak University of Technology Bratislava

FACULTY OF INFORMATICS AND INFORMATION TECHNOLOGIES

Degree Course: Intelligent Software Systems

Author: Patrik Beka

Master thesis: The modeling of human visual attention using computer vision and artificial intelligence

Supervisor: doc. Ing. Vanda Benešová, PhD.

May 2018

Obsah

1	Úvod	1
2	Vizuálna pozornosť	3
2.1	Bottom-up spracovanie	3
2.2	Top-down spracovanie	4
3	Neurónové siete	4
3.1	Aktivačné funkcie	5
3.2	Učenie sa neurónovej siete	7
3.3	Typy neurónových sietí	9
3.3.1	Konvolučné neurónové siete	11
3.4	Framework-y pre prácu s neurónovými sieťami	13
3.4.1	TensorFlow	13
3.4.2	Microsoft CNTK	14
3.4.3	Theano	15
3.4.4	Keras	16
3.4.5	Spark MLlib	17
3.5	Existujúce modely vizuálnej pozornosti	17
3.5.1	Bottom-up modely	18
3.5.2	Top-down modely	19
4	Metriky používané na ohodnotenie modelov vizuálnej pozornosti	19
5	Návrh	21
5.1	Prvotné experimenty	21
5.2	Návrh neurónovej siete	21
5.3	Dataset	22
6	Zhrnutie	23
	Literatúra	25

Zoznam obrázkov

1	Jednoduchá neurónová sieť	10
2	Vrstva združovania - príklad vzorkovania	11
3	Konvolučná neurónová sieť	12
4	Architektúra fungovania Microsoft CNTK	14
5	Príklad grafovej abstrakcie výpočtov použitím framework-u Theano	15
6	Itti-ho hierarchický model vizuálnej pozornosti	19
7	Návrh neurónovej siete	22

1 Úvod

2 Vizuálna pozornosť

Termín vizuálna pozornosť možno definovať ako súbor všetkých faktorov, ktoré ovplyvňujú naše mechanizmy výberu podstatných častí v scéne a jej spracovanie, nezáležiac od toho, aké tieto mechanizmy sú (či už riadené stimulmi, očakávaniami, pamäťou, atď.) [3].

Tento pojem je často zamieňaný s vizuálnou výraznosťou, avšak tieto dva termíny nevyjadrujú úplne to isté. Presnejšou definíciou vizuálnej výraznosti (z angl. visual saliency) je, že sa jedná o značne subjektívnu perceptuálnu vlastnosť, vďaka ktorej niektoré veci vo svete (v scéne) vyčnievajú v porovnaní so svojimi susedmi kvôli ich vlastnostiam ako farba, jas, kontrast či orientácia [10]. Upútanie pozornosti ovplyvňujú mechanizmy spracovania scény, ktoré možno rozdeliť do na dve skupiny:

- spracovanie „zdola nahor“ (z angl. bottom-up)
- spracovanie „zhora nadol“ (z angl. top-down)

2.1 Bottom-up spracovanie

Vizuálne stimuly, ktoré upútajú pozornosť automaticky, mimovoľne, sa nazývajú bottom-up stimuly (alebo kontextovo riadené). Práve tieto riadia našu pozornosť a v podstate sú akousi známkou (ukazovateľom), že táto lokácia (alebo objekt v nej) je značne odlišná od svojho okolia a presne preto stojí za pozornosť. Ich príkladom môžu byť značky pri pozemných komunikáciách, bezpečnostné prvky vo vozidlách, ale aj správne umiestnené titulky v novinách, blogoch, či dizajnéromi nesprávne umiestnená reklama na webových stránkach zbytočne odtrhujúca našu pozornosť od podstatných vecí.

Hlavnou charakteristikou tohto spracovania je nevedomosť (obvykle bez predošlých informácií o pozorovanej scéne) a rýchlosť - priemerné spracovanie jedného objektu v scéne je na úrovni od 20 do 50 milisekúnd[11].

2.2 Top-down spracovanie

Tento typ spracovania vizuálnych signálov sa oproti vyššie uvedenému líši viacerými vecami. Tou prvou je, že sa riadi tzv. predvídateľnými mechanizmami a prináša so sebou bližšie nešpecifikovanú vedomosť o pozorovanej scéne - pozorovateľ má isté informácie ako predošlé skúsenosti, spomienky, alebo napríklad hľadá v scéne nejaký konkrétny objekt. Z tohto dôvodu sa nazýva aj spracovaním založeným na vedomostiach (z angl. knowledge-based processing[6]) alebo údajoch (a angl. data-driven processing[8])

Druhým veľkým rozdielom oproti bottom-up spracovaniu je jeho rýchlosť, priemerný čas spracovania vizuálneho signálu sa pohybuje na úrovni 200 milisekúnd[11] a viac, čo je výrazne pomalšie.

3 Neurónové siete

Neurónová sieť je abstraktný výpočtovový model založený na princípe reálnych biologických neurosystémov. Základnou stavebnou jednotkou je tak rovnako ako u neurónových sietí živočíchov neurón, resp. model neurónu[1]. Ten spracováva rôzne množstvo vstupov (N) a výstupov (M). V minulosti sa zvykol vyjadrovať podľa nasledovnej matematickej špecifikácie:

$$o_i^{k+1} = f \left(\sum_{j=1}^N w_{ij}^k * o_j^k - \theta_i^{k+1} \right) \quad (1)$$

Pre vyššie uvedené platí:

$0 < i \leq M$

$0 < j \leq N$

o_i^{k+1} - výstupná hodnota i-teho neurónu patriaceho k+1 vrstve

k - číslo vrstvy

θ_{ij}^k - prah stimulácie i-teho neurónu k+1 vrstvy

w_{ij}^k - váha medzi i-tým neurónom vrstvy k+1 a j-tým neurónom vrstvy k

f() - funkcia

V súčasnosti sa však používa radšej matematické vyjadrenie zobrazené v rovnici 2. Vypustil sa z neho prah stimulácie neurónu, miesto ktorého sa používa tzv. predsudok (z angl. bias), čo je niečo ako predpokladaná hodnota (náš chýbajúci prah stimulácie) neurónu. Tá sa časom samozrejme mení.

Predpokladajme, že máme $m+1$ vstupov so signálmi od x_0 po x_m a váhami od w_0 po w_m . Obvykle sa vstupu x_0 prideli hodnota $+1$, čím sa stane predsudkom vstupu s $w_{k0} = b_k$. To necháva potom iba m vstupov do neurónu, od x_1 do x_m . Samotný výstup z k -teho neurónu je potom matematicky vyjadrený nasledujúcou rovnicou:

$$y_k = \phi\left(\sum_{j=0}^m w_{kj} * x_j\right) \quad (2)$$

Pre vyššie uvedené platí:

y_k - výstup k -teho neurónu

w_{kj} - váha j -teho neurónu spojeného s k -tym neurónom na ďalšej vrstve

x_j - j -ty neurón

ϕ - funkcia

Neurónová sieť sa môže skladať z viacerých vrstiev, na ktorých sú umiestnené neuróny. Prvá vrstva sa nazýva vstupná, posledná výstupná. Medzi nimi môže byť ľubovoľný počet skrytých vrstiev rôzneho typu. Každá vrstva (s výnimkou výstupnej) by mala ešte navyše obsahovať aktivačnú funkciu (kapitola 3.1). V našom prípade sa jedná o neurón umelý a funkciu, ktorá definuje výstup neurónu pre vstup alebo sadu vstupov.

3.1 Aktivačné funkcie

Aktivačná funkcia predstavuje matematické vyjadrenie použité k aproximácii vplyvu na neurón, zjednušene by bolo možné povedať, že pre sériu vstupov definuje výstupy. Aktivačných funkcií existuje niekoľko typov, každá vhodná na iný typ úloh. Ako príklad je možné uviesť nasledujúce:

- **Softmax**

Funkcia softmax¹ (inak aj normalizovaná exponenciálna funkcia) normalizuje daný n dimenzionálny vektor tak, že upraví jeho hodnoty do rozsahu $(0,1)$, pričom ich súčet bude rovný 1. Jej matematické vyjadrenie je nižšie.

$$S_{vec_j} = \frac{e^{vec_j}}{\sum_{i=1}^n e^{vec_i}} \quad (3)$$

Pre vyššie uvedené vyjadrenie platí:

$$\forall j \in 1..n$$

vec - konkrétny vector

Keď si ako príklad vezmeme jednoduchý vektor $[1, 2, 3]$, výsledok po aplikovaní softmaxu bude $[0.09, 0.24, 0.67]$. Ako môžeme vidieť, funkcia sa väčšinou používa na zvýraznenie väčších hodnôt a zároveň potlačenie hodnôt, ktoré sú výrazne menšie ako maximálna hodnota.

- **ReLU**

Upravená lineárna jednotka (z angl. rectified linear unit) je funkcia v tvare:

$$f(x) = \max(0, x) \quad (4)$$

kde x je vstup do neurónu. Používa sa vďaka svojej jednoduchosti, keďže neobsahuje žiadne komplikované výpočty, čoho dôsledkom je aj jej značná rýchlosť. Jej využitie je možné pozorovať napríklad pri hlbokých neurónových sieťach.

- **Softplus**

Je v podstate aproximáciou k predošlej ReLU s matematickým vyjadrením:

$$f(x) = \ln(1 + e^x) \quad (5)$$

Rovnako ako pri ReLU je oborom hodnôt interval $(0, \infty)$. Jej využitie je napríklad pri rozoznávaní reči.

¹<http://eli.thegreenplace.net/2016/the-softmax-function-and-its-derivative/>

- **Sigmoid**

Táto funkcia sa používa hlavne keď je potrebné pracovať s pravdepodobnosťami, keďže jej výstup tvorí interval (0, 1). Jej matematické vyjadrenie je nasledovné:

$$S(t) = \frac{t}{1 - e^{-t}} \quad (6)$$

- **Tanh**

Hyperbolický tangens. Často sa používa v rovnakých prípadoch ako Sigmoid, keďže matematicky sa dá vyjadriť aj za použitia Sigmoidu. Jeho vzorec je nasledovný:

$$\tanh(x) = \frac{\cosh(x)}{\sinh(x)} = \text{Sigmoid}(2x) - \text{Sigmoid}(-2x) = \frac{e^{2x} - 1}{e^{2x} + 1} \quad (7)$$

3.2 Učenie sa neurónovej siete

Základným prvkom toho, aby bola neurónová sieť schopná riešiť úlohy je učenie sa. Existujú viaceré typy učenia sa neurónovej siete, za zmienku stojí napríklad učenie sa s učiteľom (z angl. supervised learning) a učenie sa bez učiteľa (z angl. unsupervised learning[9]). Hlavným rozdielom medzi nimi je, že učenie s učiteľom musí prebiehať na predpripravenom datasete, ktorý musí obsahovať nejaké testovacie vstupné dáta (pre ktoré chceme vypočítať výstupnú funkciu) a takzvané štítky (z angl. labels), ktoré sú v podstate naše očakávané výstupy. Učenie sa bez učiteľa naproti tomu odvodzuje funkciu k popisu skrytej štruktúry z neoštiekovaných dát, teda bez štítkov, ktoré nám určujú očakávané výstupy. Nie je tu teda žiadna chyba ani signál k ohodnoteniu potenciálneho riešenia.

Príkladom učenia s učiteľom môže byť napríklad jednoduchá neurónová sieť, ktorá má riešiť funkciu XOR[1], kedy potrebujeme reprezentovať vstupné dáta ako dvojicu núl a jednotiek. Štítkami sú v tomto prípade očakávané výstupy, takže napríklad pre vstup (dvojicu) [0,1] je štítkom 1. Takto pripravený dataset pre učenie sa by mal byť veľmi rozsiahly aby sa dosiahla maximálna presnosť. Ďalej je potrebné použiť niektorý z algoritmov učenia. Široko používaným je na takýto typ úloh algoritmus učenia spätného šírenia (z angl. backpropagation). Tento algoritmus sa snaží minimalizovať chybu pri učení a to tak, že najprv sa vypočíta

chyba na poslednej (výstupnej) vrstve. Tá sa potom šíri späť k vstupnej vrstve a aktualizujú sa váhy jednotlivých neurónov. V kombinácii s algoritmami učenia sa používajú optimačné algoritmy, ktorých cieľom je nájsť minimum funkcie medzi váhami. Medzi základné optimačery patria:

- **Gradient descent optimizer [18]:**

Je to iteratívny algoritmus používaný k nájdeniu lokálneho minima funkcie, kedy podniká kroky k nájdeniu záporného gradientu² funkcie v aktuálnom bode. To je využívané pri určovaní rýchlosti učenia sa neurónovej siete.

Existujú 3 hlavné varianty gradient descent optimizéru, ktoré počítajú sklon (gradient) funkcie. Delia sa hlavne podľa množstva dát určenému k spracovaniu, kedy sa robí kompromis medzi presnosťou aktualizácie parametra a časom, ktorý je potrebný na vykonanie tejto aktualizácie. Týmito typmi sú:

- Dávkový gradient descent:

Z angl. Batch gradient descent. Gradient sa počíta pre celý tréningový dataset, takže pre jednu aktualizáciu je potrebné ho prejsť celý a preto môže byť veľmi pomalý.

- Stochastický gradient descent:

Tento typ je presným kontrastom voči dávkovému gradient descentu. Aktualizácia sa uskutočňuje pre každú vzorku z tréningového datasetu.

- Mini-dávkový gradient descent:

Je kompromisom medzi predošlými dvomi typmi. Aktualizácia prebieha pre malú dávku (batch) z datasetu o veľkosti n vzoriek.

- **Adam optimizer [13]:**

V podstate vychádza priamo zo Stochastického gradient descent optimizéru, resp. jeho modifikácie RMSProp algoritmu[21]. Rozdiel oproti Gradient descent optimizéru je ale v tom, že je schopný variabilne určovať rýchlosť učenia neurónovej siete.

² zmena veličiny v závislosti od inej premennej

- **Ftrl optimizer:**

Vychádza z algoritmu učenia FTRL-Proximal[15], celým názvom Nasleduj regularizovaného vodcu (z angl. Follow The (Proximal) Regularized Leader). Tento algoritmus je bez regularizácie v podstate identický s gradient descentom, avšak používa alternatívnu reprezentáciu koeficientov váh a tak môže byť regularizácia implementovaná efektívnejšie.

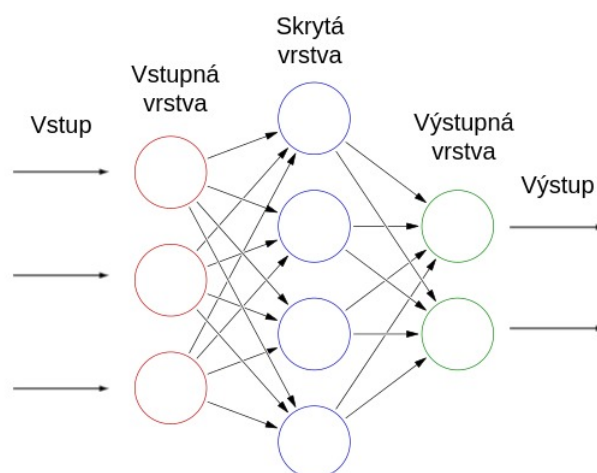
Po fáze učenia sa nasleduje validácia, pri ktorej sieť nemá prístup k štítkom. Na záver sa prejde k samotnému testovaniu neurónovej siete, kedy sa do nej posúvajú dáta rovnako bez toho, aby sieť mala prístup k štítkom. Na základe jej predikcie a štítkom k testovacím dátam sa určí jej presnosť. Na učenie, testovanie a validáciu by nemali byť použité tie isté dáta. Pomer dát k jednotlivým fázam by mal byť 80-10-10[17], čiže 80% dát je určených na učenie sa, 10% na validáciu a 10% na samotné otestovanie predikcií modelu siete.

Aj keď neurónové siete dokážu efektívne riešiť veľké množstvo úloh, problémom stále zostáva mať k dispozícii dostatok dát k učeniu neurónovej siete ešte pred riešením úloh. Taktiež je potrebné mať dostatok výpočtovej sily, aby sa problém neriešil prídlhý čas, a dostatok pamäte, keďže neurónové siete jej potrebujú značné množstvo.

3.3 Typy neurónových sietí

Neurónové siete majú niekoľko typov, ktoré sa rozlišujú hlavne podľa spôsobu prepojenia neurónov, ale aj podľa typu úloh, na ktoré sú určené, či podľa počtu vrstiev neurónov alebo štýlu učenia.

Najjednoduchší typ možno zobrazit' ako jednu vstupnú vrstvu, jednu skrytú a jednu výstupnú, neuróny sú tu poprepájané z n -tej vrstvy do $n+1$ vrstvy, ako je možné vidieť na obrázku 1. Tento typ sa nazýva dopredná neurónová sieť (z angl. feedforward neural network) a môže mať aj viac ako len jednu skrytú vrstvu. Používa sa hlavne ak sa jedná o predikciu nelineárnej funkcie (napríklad carbon-13 NMR chemické posuny alkánov[20]).

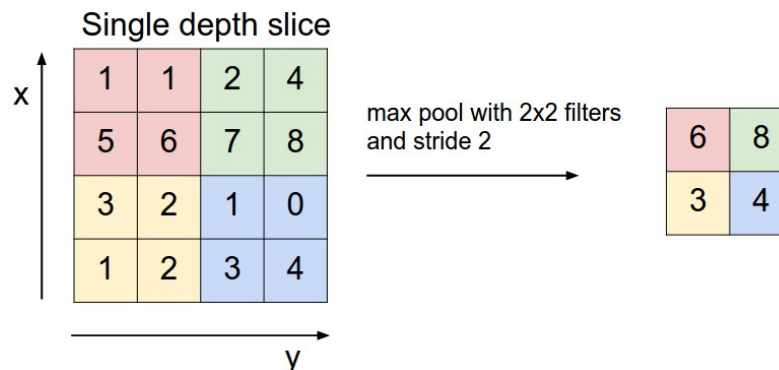


Obr. 1: Príklad jednoduchkej neurónovej siete

Zložitejším typom sú rekurentné neurónové siete. Už z názvu vyplýva, že jednou z vecí, ktoré umožňujú, je rekurenciu. Vďaka nej prepojenia neurónov už nie sú jednosmerné len z jednej vrstvy na druhú, ale umožňuje prepojiť neuróny akokoľvek a tak vytvárať napríklad slučky či cykly. To dovoľuje zachytiť aj dynamické časovo obmedzené správanie a používať kontext z minulosti (avšak len niekoľko krokov dozadu), teda použiť niečo ako krátkodobú „pamäť“. Na rozdiel od doprednej neurónovej siete je možné spracovať aj ľubovoľnú sekvenciu vstupov. V praxi to znamená, že keď chceme napríklad predikovať ďalšie slovo vo vete, je dobré vedieť, ktoré slová boli pred ním. Tento typ sietí sa používa napríklad pri rozpoznávaní reči[19] alebo písma[7], či generovaní popisu k obrázkom[12], kedy však funguje v kombinácii s konvolučnou neurónovou sieťou (z angl. convolutional neural network). Tá je použitá na klasifikáciu obrázkov a rozoznávanie objektov, rekurentná sieť je použitá iba na výsledné generovanie jednoduchého popisu. Konvolučná neurónová sieť je ďalším typom neurónovej siete, ktorá sa používa pri práci s obrázkami (rozpoznávanie objektov, atď.). Podrobnejšie je tento typ popísaný nižšie, nakoľko je to typ, s ktorým budeme pracovať aj neskôr.

3.3.1 Konvolučné neurónové siete

Základ tejto siete tvorí vstupná konvolučná vrstva³ s konvolučným filtrom, ten býva väčšinou malý (3x3, 5x5). Vstup tejto vrstvy musí byť v tvare $m \times m \times r$, kde m je šírka a výška obrázku, r je počet farebných kanálov. Napríklad pre RGB obrázok je $r=3$ (červená, zelená, modrá). Konvolučným filtrom sa prejde celý obrázok a výstupom z tejto vrstvy je niekoľko filtrov. Tie sa potom spracúvajú v ďalšie vrstve združovania (z angl. pooling layer[14]), ktorá tieto filtre rozvzorkuje. To prebieha nezávisle na každom získanom filtri z konvolučnej vrstvy. Rozvzorkovanie v podstate znamená, že sa zmení veľkosť filtrov použitím operácie MAX. Najbežnejšou formou spomínanej vrstvy je verzia s oknom (filtrom) o veľkosti 2x2 aplikovaným s krokom veľkosti 2. Toto sa dá jednoducho vysvetliť ako prejde každého výstupu z konvolučnej vrstvy oknom uvedenej veľkosti postupne po 2 políčkach na šírku aj výšku, pričom z každej štvorice v okne sa získa MAX operáciou maximum, s ktorým sa pracuje ďalej. Na obrázku⁴ 2 je vidieť výsledok popisovaného postupu na jednoduchom príklade.



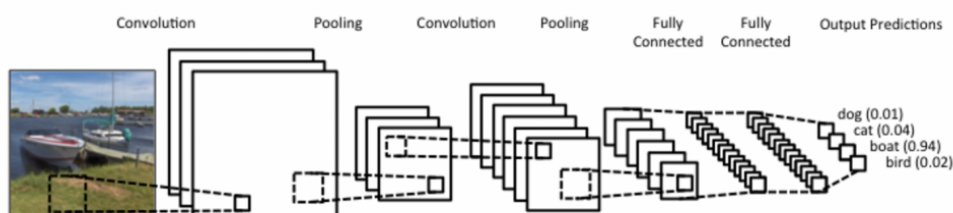
Obr. 2: Príklad vrstvy združovania, pri ktorom sa rozvzorkuje výstup z konvolučnej vrstvy o veľkosti 4x4, filtrom 2x2, s krokom veľkosti 2 za použitia operácie MAX

Takýchto konvolučných vrstiev s vrstvami združovania môže byť aj viac, nemusia ani nutne nasledovať po sebe. Po týchto vrstvách nasleduje plne prepojená vrstva alebo vrstvy (z angl. fully-connected layers), čo je vrstva, v ktorej majú

³<http://www.wildml.com/2015/11/understanding-convolutional-neural-networks-for-nlp/>

⁴<http://cs231n.github.io/convolutional-networks/>

neuróny plné spojenie so všetkými aktiváciami v predošlej vrstve, rovnako ako pri bežných neurónových sieťach. Aktivačnou funkciou neurónov na tejto vrstve býva väčšinou ReLU. Po plne prepojenej vrstve (vrstvách) už nasleduje iba výstupná vrstva. Na obrázku⁵ nižšie je jednoduchý náčrt vyššie popísané konvolučnej neurónovej siete.



Obr. 3: Príklad konvolučnej neurónovej siete

Využitie tohto typu je v podstate všade, kde sa jedná o rozpoznávanie obrázkov. Či už ide o automatické vyznačenie tvárí pre označenie na facebooku, autonómne vozidlá, ktoré sa vedia riadiť sami (autopilot) alebo triedenie uhoriek na farmách v Japonsku⁶. Na tento konkrétny softvér bol použitý príklad kódu jednoduchej konvolučnej siete z tutoriálu⁷ pre TensorFlow (knihnica pre prácu s neurónovými sieťami), s modifikáciou konvolučnej a združovacej vrstvy tak, aby bola sieť usposobená počtu tried uhoriek (10) a ich formátu obrázkov.

Z mnohých pokusov o autonómnú jazdu stoja za zmienku hlavne tie od Tesly a Google. Prototyp autonómneho systému vozidla od Google-u Dave-2[2] využíva model neurónovej siete s 9 vrstvami, jednu normalizačnú, 5 konvolučných a 3 plne prepojené vrstvy. Kamerami spracovaný obraz okolia s frekvenciou 10 snímkov za sekundu (tak nízky počet preto, aby sa predišlo veľkému množstvu príliš podobných obrázkov) je po jednom snímku rozdelený do YUV⁸ úrovni a posunutý do neurónovej siete.

⁵<https://ujjwalkarn.me/2016/08/11/intuitive-explanation-convnets/>

⁶<https://cloud.google.com/blog/big-data/2016/08/how-a-japanese-cucumber-farmer-is-using-deep-learning-and-tensorflow>

⁷<https://www.tensorflow.org/versions/0.6.0/tutorials/mnist/pros/index.html>

⁸farebný priestor používaný vo video aplikáciách

3.4 Framework-y pre prácu s neurónovými sieťami

V dnešnej dobe moderného internetu a dostupnosti technológií máme možnosť výberu z dostatočného množstva framework-ov pre potreby riešenia najrôznejších problémov neurónovými sieťami. Pri výbere môžeme brať do úvahy napríklad preferencie operačného systému (Windows, Linux, ...), programovacieho jazyka (Python, C++, Java, ...), ale aj benefity distribuovaného riešenia a omnoho viac. V nasledujúcich podkapitolách sú preto popísané niektoré z najpoužívanějších technológií pre implementovanie neurónových sietí.

3.4.1 TensorFlow

TensorFlow⁹ je open-source softvérová knižnica, ktorá pre numerické výpočty používa graf dátového toku, kde uzly grafu reprezentujú matematické operácie a hrany multidimenzionálne dátové polia, tzv. tenzory. Graf je možné skonštruovať použitím jazykov s podporou frontend-u (C++, Python, ...).

Flexibilná architektúra umožňuje vykonávať výpočty na CPU alebo GPU (nepomerne rýchlejšie) na serveroch, desktopových počítačoch či dokonca aj mobilných zariadeniach. Pôvodne bol TensorFlow vyvinutý výzkumníkmi a inžiniermi v Google-i pre strojové učenie a hlboké učenie, avšak jeho využitie je oveľa širšie. Momentálne používa TensorFlow veľké množstvo programov, napríklad Google vyhľadávač, prekladač alebo YouTube.

Momentálne podporuje jazyky C++, Python, Java, Go, Swift.

Medzi hlavné výhody patrí:

- podpora pre jednoducho naučiteľné jazyky (Python)
- použitie výpočtovej grafovej abstrakcie
- vizualizácie pomocou TensorBoard-u¹⁰ (interaktívne grafy pre priebeh učenia, pre model siete, ...)
- dostatočne nízko-úrovňový pre plnú kontrolu a implementáciu vlastnej (novej nie len preddefinovanej) funkcionality (v porovnaní napríklad s frameworkom Keras(kapitola 3.4.4))

⁹<https://www.tensorflow.org/>

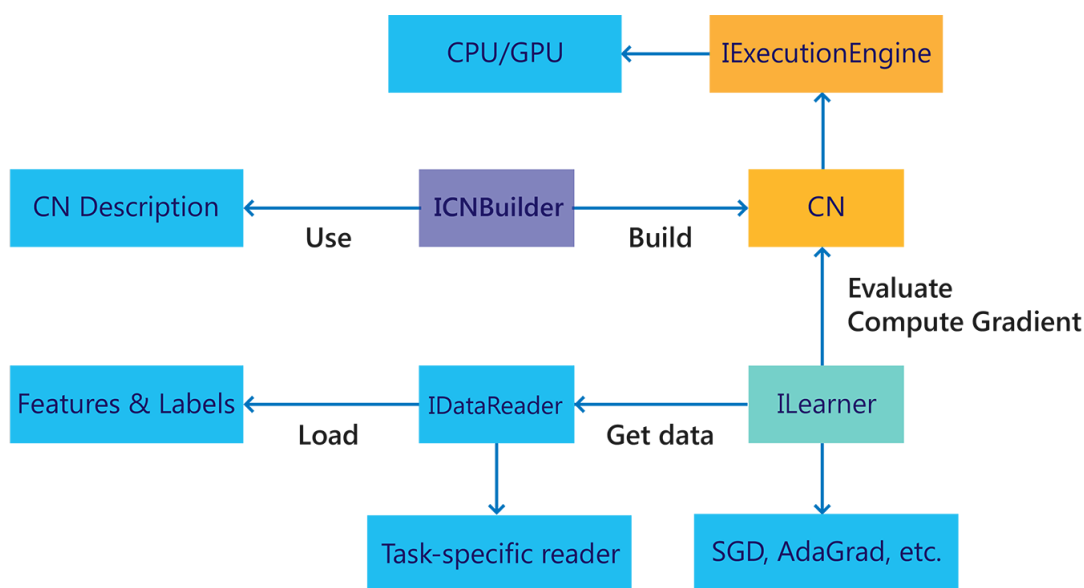
¹⁰https://www.tensorflow.org/programmers_guide/summaries_and_tensorboard

Ako nevýhody možno uviesť:

- nedostatok predtrénovaných modelov
- pri použití s určitými jazykmi (Python, Java, ...) je pomalý, nakoľko sa nejedná najrýchlejšie jazyky

3.4.2 Microsoft CNTK

Označuje knižnicu Microsoft Cognitive Toolkit¹¹, ktorá zlepšuje modularizáciu a údržbu separácie výpočtových sietí, zároveň poskytuje algoritmy učenia a popisy modelov. Má sa jednať o odpoveď na TensorFlow, poskytovaná funkcionality je veľmi podobná, avšak je o niečo rýchlejšia. Princíp a celá architektúra sú zachytené na diagrame na obrázku 4.



Obr. 4: Diagram zobrazujúci architektúru fungovania Microsoft CNTK¹²

Momentálne podporuje jazyky C++, C#, Python, Java.

Výhodami tohto framework-u sú:

¹¹<https://docs.microsoft.com/en-us/cognitive-toolkit/>

¹²<https://dzone.com/articles/progressive-tools10-best-frameworks-and-libraries>

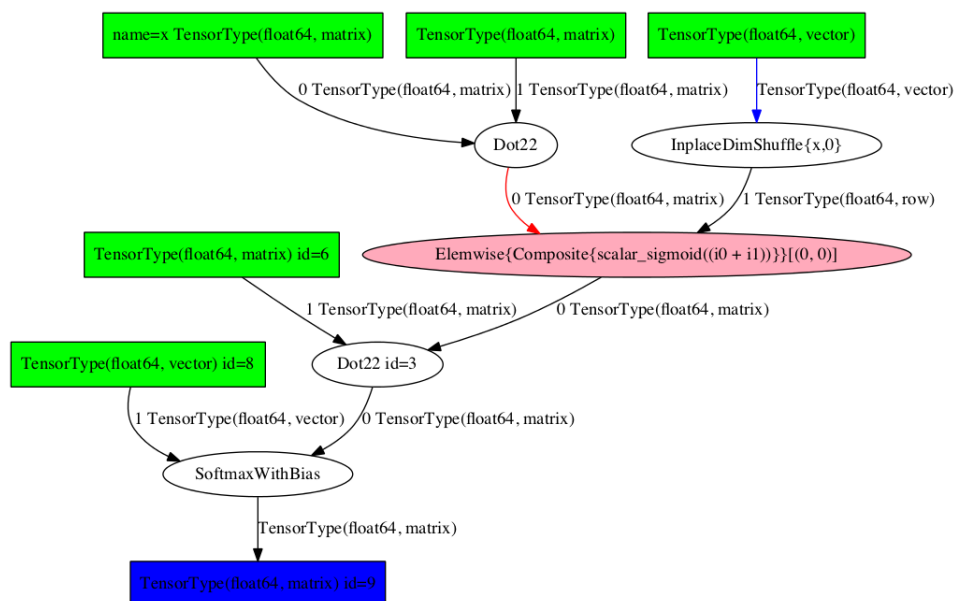
- flexibilita
- umožňuje distribuovaný tréning

Medzi nevýhody možno zaradiť:

- implementácia v novom jazyku, Network Description Language (NDL)
- nedostatok možností a nástrojov pre vizualizácie

3.4.3 Theano

Theano¹³ je veľmi silná knižnica umožňujúca definovanie, optimalizáciu a evaluáciu numerických operácií nad multidimenzionálnymi poliami s obrovskou efektívnosťou. Podobne ako TensorFlow, k abstrakcii výpočtov používa grafy ako možno vidieť na príklade na obrázku 5.



Obr. 5: Príklad grafovej abstrakcie výpočtov použitím framework-u Theano¹⁴

¹³<https://github.com/Theano/Theano>

¹⁴<http://www.wildml.com/2015/09/speeding-up-your-neural-network-with-theano-and-the-gpu/>

Momentálne podporuje iba programovací jazyk Python a v poslednej dobe vývoj tohto framework-u dosť upadá.

Medzi hlavné výhody patrí:

- veľmi dobrá optimalizácia pre CPU a GPU (najmä vďaka použitiu nízkoúrovňovej funkcionality naprogramované v jazyku C)
- vysoko efektívna knižnica pre numerické úlohy

Za najväčšie nevýhody sú pokladané:

- Theano samo o sebe je v porovnaní s ostatnými knižnicami príliš nízkoúrovňové
- potreba použitia s inými knižnicami s vyšším stupňom abstrakcie (napríklad Keras)

3.4.4 Keras

Ďalší open-source framework pre prácu s neurónovými sieťami, avšak na rozdiel od predošlých troch nie je vypracovaný ako koncové riešenie pre strojové učenie. Namiesto toho slúži ako rozhranie a poskytuje vyššiu úroveň abstrakcie pre jednoduchšie používanie ostatných framework-ov, z ktorých momentálne pre použitie ako backend podporuje TensorFlow a Theano. Myšlienka stojaca za celým projektom je: *"Byť schopný pretaviť myšlienku na výsledok s čo najmenším zdržaním je kľúčom k dobrému výskumu"*¹⁵, čo bude aj jedným z dôvodov prečo je práca s ním jednoduchšia.

Keras je v súčasnosti možné používať iba v programovacom jazyku Python.

Jeho hlavnými výhodami sú:

- jednoduchosť naučenia, používateľsky veľmi prívetivé
- ľahká rozšíriteľnosť
- bezproblémový beh aj na CPU aj na GPU
- bezproblémové fungovanie aj s Theano-m a s TensorFlow-om

¹⁵<https://keras.io/>

Za jedínú nevýhodu môže byť považovaná nemožnosť použitia ako nezávislý framework - vždy je potrebný nejaký ďalší backend.

3.4.5 Spark MLlib

Škálovateľná knižnica pre strojové učenie, široko využívaná najmä v distribuovaných systémoch hlavne kvôli svojej efektívnosti. Veľmi jednoducho je ju možné pripojiť do Hadoop workflow-u, poskytuje množstvo algoritmov pre strojové učenie optimalizovaných pre výpočty v už spomínaných distribuovaných systémoch na dátach vo veľkom meradle¹⁶.

Momentálne poskytuje podporu pre jazyky Python, Java, Scala a R.

Najväčšími výhodami sú:

- vysoká rýchlosť na dátach vo veľkom meradle
- dostupnosť v jazykoch, ktoré podobnými framework-ami nie sú často podporované

Za nevýhody možno pokladať:

- strmá krivka učenia
- dostupnosť v jazykoch, ktoré podobnými framework-ami nie sú často podporované

Nevýhodou v porovnaní s vyššie uvedenými framework-ami môže byť nižšie množstvo implementovaných algoritmov, avšak vývoj rozhodne nezaháľ a pridávanej funkcionality je stále viac a viac.

3.5 Existujúce modely vizuálnej pozornosti

Existujúce modely vizuálnej pozornosti možno z pohľadu typu predikovaných máp výraznosti rozdeliť na bottom-up modely (kapitola 3.5.1) a top-down modely (kapitola 3.5.2). Ďalším zaujímavým rozdelením však je rozdelenie podľa použitých princípov a technológií [16], na modely:

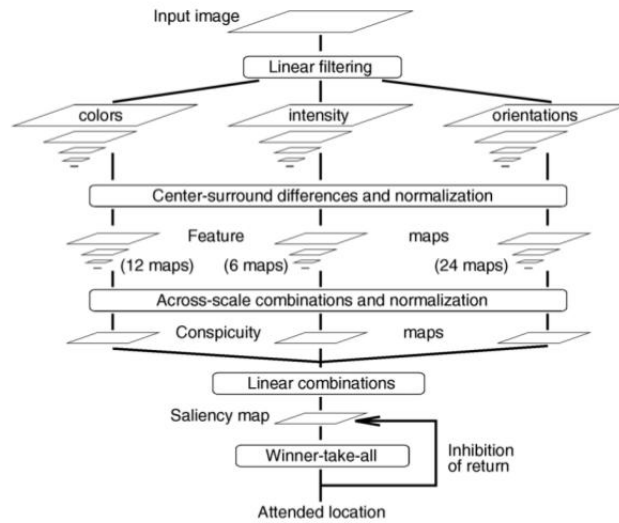
¹⁶<https://spark.apache.org/mllib/>

- hierarchické - využívajú hierarchické rozkladanie príznakov
- Bayesove - využívajú kombináciu výraznosti s predchádzajúcimi znalosťami
- rozhodovaco-teoretické - využívajú diskriminačnú teóriu výraznosti
- informaticko-teoretické - využívajú maximalizáciu informácie z daného prostredia
- grafické - predikcia výraznosti je založená na grafových algoritmoch
- vzorovo klasifikačné - využívajú strojové učenie zo vzorov s výraznými črtami

3.5.1 Bottom-up modely

Nakoľko práve bottom-up pozornosť bola prvá skúmaná, existuje k jej predikcii obrovské množstvo najrozličnejších modelov. Z tých najzaujímavejších stoja za spomenutie nasledovné:

- **Itti-ho hierarchický model [5]** - je jedným z najznámejších modelov vizuálnej pozornosti, i keď je jedným zo starších modelov dodnes je široko používaný a citovaný v mnohých článkoch. Je to biologicky inšpirovaný bottom-up model, ktorý využíva hierarchické rozloženie vlastností a ich kombináciu do výslednej mapy výraznosti (z angl. saliency map). Ako je vidieť na obrázku 6, zo vstupného obrázka sa vytvoria 3 typy máp a to podľa farby, intenzity a orientácie, ktorých kombináciou sa dosiahne už spomenutá mapa výraznosti.



Obr. 6: Itti-ho hierarchický model vizuálnej pozornosti[5]

- Metóda hierarchickej výraznosti
- Model pre určovanie salientných oblastí webových stránok

3.5.2 Top-down modely

4 Metriky používané na ohodnotenie modelov vizuálnej pozornosti

Tradične sa tieto modely evaluujú vzhľadom na pohyb očí, resp. samotné fixácie. K tomu slúži značný počet rôzne fungujúcich metrík[4], najpoužívanjšie sú:

- NSS - Normalizovaná cesta výraznosti (z angl. Normalized Scanpath Saliency). Využíva priemer hodnôt výraznosti na n fixácií v normalizovanej mape podľa nasledovného vzorca:

$$\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \frac{s(x_h^i, y_h^i) - \mu_s}{\sigma_s} \quad (8)$$

- AUC - Oblasť pod ROC krivkou (z angl. Area Under the ROC Curve). Ľudské fixácie sú považované za pozitívnu sadu a niektoré body na obrázku sú vybrané ako negatívna sada. K mape výraznosti je potom pristupované ako k binárnemu klasifikátoru na separáciu pozitívnych vzorkov od negatívnych. Presnosť podľa tejto metriky je daná nasledovne:
 - 0.90 - 1 = výborná
 - 0.80 - 0.90 = dobrá
 - 0.70 - 0.80 = priemerná
 - 0.60 - 0.70 = slabá
 - 0.50 - 0.60 = veľmi slabá
- sAUC - Zamiešaná oblasť pod ROC krivkou (z angl. shuffled Area Under the ROC Curve) je mierna modifikácia vyššie uvedenej metriky, kedy ako negatívna sada nie sú vybrané len niektoré body, ale všetky body, ktoré nie sú ľudskými fixáciami, sú považované za negatívne. Určenie presnosti na základe hodnôt je rovnaké ako pri AUC.
- CC - Korelačný koeficient, určuje prakticky podobnosť v tomto prípade dvoch máp výraznosti, kde jedna je výsledok modelu vizuálnej pozornosti a druhá je reálna mapa vypočítaná z fixácií.

$$CC(s, h) = \frac{cov(s, h)}{\sigma_s \sigma_h} \quad (9)$$

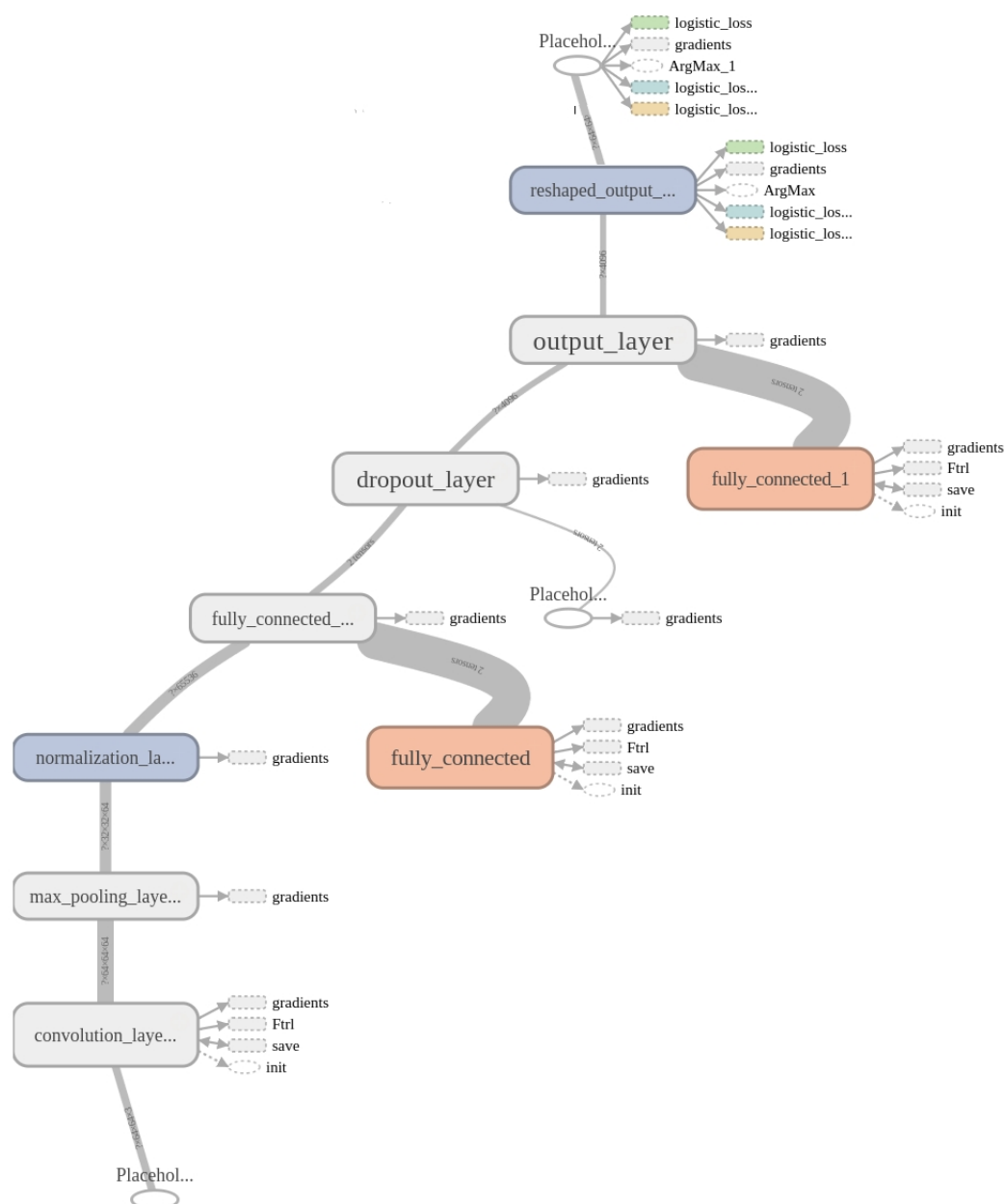
5 Návrh

5.1 Prvotné experimenty

5.2 Návrh neurónovej siete

Celá architektúra je načrtnutá na schéme na obrázku 7 vytvorenej pomocou nástroja TensorBoard¹⁷.

¹⁷https://www.tensorflow.org/get_started/summaries_and_tensorboard/



Obr. 7: Grafická schéma neurónovej siete, zdola vstup, vrstvy neurónovej siete, výstup (predikovaná mapa výraznosti)

5.3 Dataset

6 Zhrnutie

Literatúra

- [1] Kvasnička V. a kol. *Úvod do teórie neurónových sietí*. Iris, 1997.
- [2] Mariusz Bojarski, Davide Del Testa, Daniel Dworakowski, Bernhard Firner, Beat Flepp, Prasoon Goyal, Lawrence D Jackel, Mathew Monfort, Urs Muller, Jiakai Zhang, et al. End to end learning for self-driving cars. *arXiv preprint arXiv:1604.07316*, 2016.
- [3] Ali Borji and Laurent Itti. State-of-the-art in visual attention modeling. *IEEE transactions on pattern analysis and machine intelligence*, 35(1):185–207, 2013.
- [4] Ali Borji, Hamed R Tavakoli, Dicky N Sihite, and Laurent Itti. Analysis of scores, datasets, and models in visual saliency prediction. In *Proceedings of the IEEE international conference on computer vision*, pages 921–928, 2013.
- [5] Renwu Gao, Faisal Shafait, Seiichi Uchida, and Yaokai Feng. A hierarchical visual saliency model for character detection in natural scenes. In *International Workshop on Camera-Based Document Analysis and Recognition*, pages 18–29. Springer, 2013.
- [6] E Bruce Goldstein. *The Blackwell handbook of sensation and perception*. John Wiley & Sons, 2008.
- [7] Alex Graves, Marcus Liwicki, Santiago Fernández, Roman Bertolami, Horst Bunke, and Jürgen Schmidhuber. A novel connectionist system for unconstrained handwriting recognition. *IEEE transactions on pattern analysis and machine intelligence*, 31(5):855–868, 2009.
- [8] Richard Langton Gregory. *Concepts and mechanisms of perception*. Charles Scribner’s Sons, 1974.
- [9] Trevor Hastie, Robert Tibshirani, and Jerome Friedman. Unsupervised learning. In *The elements of statistical learning*, pages 485–585. Springer, 2009.

- [10] Laurent Itti. Visual salience. *Scholarpedia*, 2(9):3327, 2007.
- [11] Laurent Itti and Christof Koch. Computational modelling of visual attention. *Nature reviews neuroscience*, 2(3):194, 2001.
- [12] Andrej Karpathy and Li Fei-Fei. Deep visual-semantic alignments for generating image descriptions. In *Proceedings of the IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition*, pages 3128–3137, 2015.
- [13] Diederik Kingma and Jimmy Ba. Adam: A method for stochastic optimization. *arXiv preprint arXiv:1412.6980*, 2014.
- [14] Fei-Fei Li, Andrej Karpathy, and J Johnson. Cs231n: Convolutional neural networks for visual recognition, 2015.
- [15] H Brendan McMahan, Gary Holt, David Sculley, Michael Young, Dietmar Ebner, Julian Grady, Lan Nie, Todd Phillips, Eugene Davydov, Daniel Golovin, et al. Ad click prediction: a view from the trenches. In *Proceedings of the 19th ACM SIGKDD international conference on Knowledge discovery and data mining*, pages 1222–1230. ACM, 2013.
- [16] Patrik Polatsek. Saliency maps. Prezentácia, 2015.
- [17] David MW Powers. Roc-concert: Roc-based measurement of consistency and certainty. In *Engineering and Technology (S-CET), 2012 Spring Congress on*, pages 1–4. IEEE, 2012.
- [18] Sebastian Ruder. An overview of gradient descent optimization algorithms. *arXiv preprint arXiv:1609.04747*, 2016.
- [19] Hasim Sak, Andrew W Senior, and Françoise Beaufays. Long short-term memory recurrent neural network architectures for large scale acoustic modeling. In *INTERSPEECH*, pages 338–342, 2014.
- [20] Daniel Svozil, Vladimir Kvasnicka, and Jiri Pospichal. Introduction to multi-layer feed-forward neural networks. *Chemometrics and intelligent laboratory systems*, 39:43–62, 1997.

- [21] Tijmen Tieleman and Geoffrey Hinton. Lecture 6.5-rmsprop: Divide the gradient by a running average of its recent magnitude. *COURSERA: Neural Networks for Machine Learning*, 4(2), 2012.