

Hodnocení vedoucího diplomové práce

Bc. Jindřiška Reismüllerová

Alternativní techniky trénování vrstevnatých neuronových sítí

Diplomová práce Bc. Jindřišky Reismüllerové se věnuje mimořádně teoreticky náročnému a zároveň velmi důležitému, potřebnému a aktuálnímu tématu trénování vrstevnatých neuronových sítí. V této oblasti v současné době naprosto dominuje technika *backpropagation*, která byla v průběhu minulých dvaceti let dotazena až na samou hranici svých možností, avšak stále trpí řadou problémů a nedostatků: Z těch nejvýznamnějších jmenujme zejména nízkou rychlost konvergence (a tedy dlouhou dobu trénování sítě) a vysokou pravděpodobnost uváznutí v lokálním minimu ztrátové funkce trénované sítě. Jakékoliv vylepšení techniky *backpropagation*, zmírnění následků jejich nedostatků, či dokonce nalezení nějakého životaschopného alternativního mechanismu trénování je proto považováno za velmi významný výsledek.

Autorka si díky svému hlubokému zájmu o teoretické problémy umělé inteligence, strojového učení a zejména neuronových sítí vybrala toto zadání, úzce související s vědeckovýzkumnou činností vedoucího práce.

Toto komplikované zadání vyžadovalo načerpat řadu velice specifických znalostí a dovedností, z nichž celá řada není běžně součástí výuky v navazujících studijních programech realizovaných na KIV. Autorka si nicméně s touto výzvou poradila na výbornou, čímž prokázala, že disponuje jednak velmi solidním matematickým fundamentem a dobrou přírodovědnou a technickou intuicí, jednak že je schopná programátorka, která dokáže teoretické konstrukce také výpočetně realizovat. Výsledkem její práce jsou dvě zcela nové fungující techniky trénování vrstevnatých neuronových sítí a množství teoretického materiálu, z něž (snad) vzniknou hodnotné odborné publikace.

Studentka se při řešení zadání projevovala jako velmi schopná, talentovaná a vysoce inteligentní, avšak také mírně neorganizovaná a nedisciplinovaná osoba. Střídaly se u ní fáze nadšeného tvoření a horečné aktivity s fázemi deziluze a znechucení, odkládání práce a pochybnostmi o jejím smyslu. Tyto stavy se projeví zejména na konečné podobě průvodního dokumentu, který byl dokončován v časové tísní.

Každopádně v těch fázích, kdy byla autorka z práce nadšená, pracovala velice aktivně: Důkladně prostudovala značné množství recentních odborných publikací, provedla pečlivou rešerši existujících řešení a činně pracovala na implementaci technik, na jejichž návrhu v konceptuální rovině spolupracovala s vedoucím práce.

Přestože koncept alternativních postupů trénování vzešel z návrhů vedoucího práce, příspěvek diplomantky je naprosto zásadní (a je jádrem předkládané práce), poněvadž tyto konceptuální návrhy za cenu vynaložení značného mentálního úsilí dopracovala do realizovatelné podoby, a zejména je pak efektivně implementovala, otestovala a vyhodnotila jejich použitelnost. Ač se jedná o silně teoreticky orientované zadání, prokázala diplomantka i více než obstojně programátorské dovednosti: V rámci implementace navržených technik napsala celkem 2262 řádek kódu v jazyce C++ v podobě jeho posledních publikovaných norem.

Spolupráci se studentkou hodnotí vedoucí práce jako velmi dobrou: Konzultace sice neprobíhaly pravidelně (viz výše), ale bylo jich dostatečné množství na to, aby se projekt ještě choval jako řízený, a studentka se vždy dostavila výborně připravena, takže schůzky byly efektivní a konstruktivní.

V průběhu práce na řešení zadaného problému se (pochopitelně) objevila celá řada zádrhelů, z nichž tím nejzásadnějším byl asi ten, že často nebylo možné implementovat metodu tak, jak si to vedoucí práce představoval a studentka musela iterativně upravovat kód implementace tak, aby tento pracoval ve shodě s teoretickým návrhem, případně modifikovat návrh, a to tak, aby nezkolaboval do techniky *backpropagation*. Díky jejímu hlubokému teoretickému vhledu do řešené problematiky se to však vždy podařilo. Na připomínky vedoucího práce reagovala většinou okamžitě nebo s přijatelným zpožděním a dělala vše pro to, aby se požadované úpravy a změny okamžitě promítaly do stavu díla, resp. posléze do průvodního textu práce.

Průvodní text práce byl naneštěstí dokončován ve spěchu a ač měl vedoucí možnost si jej před odevzdáním pročíst a vyjádřit se k němu, nelze úplně s čistým svědomím prohlásit, že byl text konzultován „dostatečně a včas“.

Práce je zcela původní. Autorka při řešení zadání vycházela zejména z dlouhých a často docela bouřlivých diskusí s vedoucím práce, z dostupných vědeckých publikací, zejména konferenčních článků a z odborné literatury. Předmětná problematika je ve vědecké komunitě považována za velmi zásadní, ovšem současně panuje přesvědčení, že moderní

podoby techniky backpropagation v podstatě není možné překonat, a jsou tedy brány jako vrchol vývoje. Také proto není materiálů, kterými by se autorka mohla být jen inspirovat, mnoho. Je jich vlastně velmi málo, a tak musela vložit do realizace řešení zásadní podíl vlastní invence. Také proto lze práci bez váhání označit za solidní vědecké dílo.

Celý kód programové realizace je původním dílem autorky; nevyužila žádných knihoven či frameworků, z důvodů jednoduchosti a zejména přehlednosti řešení pro potřeby experimentů napsala jak implementaci vícevrstvého perceptronu, tak technik jeho trénování, vlastními silami.

Citace v textu i bibliografie na konci práce jsou provedené v souladu s požadavky. Uvedené zdroje literatury (45) jsou dostatečné a relevantní. Většinou jde o články publikované na významných oborových konferencích, ale i o knihy z oblasti fyziologie centrální nervové soustavy, apod. Výběr literatury považuji za naprosto adekvátní. Některé položky v seznamu literatury jsou však dle mého názoru málo identifikovány, tzn. některé identifikátory chybí (např. u [3], [11], či [17]).

Implementační část předloženého díla je plně funkční, nakolik to lze konstatovat v případě prototypu implementace dvou nově navržených alternativních technik trénování vrstevnatých neuronových sítí a rutin pro vyhodnocení jejich výkonů. Navržené techniky jsou korektně a efektivně algoritmicky realizovány a v testech se prokázalo, že jsou životaschopné a při trénování neuronových sítí typu MLP představují nejen použitelnou, ale na některých testovacích datasetech i mírně rychlejší alternativu k technice backpropagation, což je mimochodem výsledek, který je lepší, než bylo nejoptimističtější očekávání vedoucího práce (a zřejmě i diplomantky).

K vývoji byl použit jazyk C++ bez orientace na konkrétní platformu. Implementace není příliš rozsáhlá (2262 řádek zdrojového kódu), což je ale s ohledem na charakter práce pochopitelné. Zdrojový kód programového řešení je zapsán celkem čitelně a přehledně, i když by to určitě šlo lépe. Např. komentáře jsou dost chaotické a ne vždy pomáhají k pochopení kódu. Část implementace je zapsána s využitím šablon a místy je poněkud monolitická, ovšem je třeba stále mít na paměti, že elegantní implementace je v případě práce tohoto druhu bonus, nikoliv nezbytnost.

Textová část díla je obvyklého rozsahu – včetně příloh 69 stran. Autorčino vyjadřování je precizní a přitom čtivé i srozumitelné: Text je jasný, autorka dobře ovládá a používá technickou češtinu a její myšlenky se v textu dobře sledují. Gramatické chyby se v textu prakticky nevyskytují, stejně jako překlepy. Drobné odchylky od typografických zvyklostí lze místy nalézt, např. autorka vytrvale používá desetinnou tečku (jak je zvykem v anglicky psaných textech) místo desetinné čárky.

Grafická úroveň dokumentu je velmi dobrá, je vysázen v L^AT_EXu, působí harmonickým dojmem a opravdu dobře se čte (což nebývá u DP úplně zvykem). Struktura textu odpovídá druhu a rozsahu práce. Je dobře logicky strukturovaný a optimálně pokrývá jak teoretická prerekvizitní témata, tak samotný návrh a implementaci metod trénování MLP, včetně ucelené a konzistentní argumentace jak při konstrukci metod, tak při jejich vyhodnocení. Text je vhodně doplněn obrázky, grafy, schémata a vzorci, které jej žádoucím způsobem obohacují. U některých obrázků bohužel utrpěla kvalita díky nízkému rozlišení nebo příliš malému písmu popisků.

Autorka dosáhla mimořádně hodnotných teoretických výsledků. Na základě její práce bude možné připravit další publikace a samozřejmě také využívat nově navržené metody pro trénování MLP v praktických aplikacích. Výsledky tedy sice nejsou využitelné přímo a okamžitě (navržené metody bude ještě třeba integrovat do knihoven pro práci s vrstevnatými neuronovými sítěmi), ale jejich potenciál do budoucna je přinejmenším značný. O užitečnosti, hodnotě a využitelnosti práce tedy nelze v žádném případě pochybovat.

Všechny body zadání byly splněny. Práce je bez jakékoliv pochybnosti vynikajícím dílem spíše vědeckého charakteru. Autorka prokázala nejen hluboké teoretické znalosti, ale i mimořádný potenciál pro další vědeckou práci. Jediné, co bych jí vytknul, a doporučil, aby na tom do budoucna pracovala, je demonstrováná míra zodpovědnosti a disciplíny.

Práci každopádně bez výhrad **doporučuji k obhajobě** a hodnotím klasifikačním stupněm

„výborně“.

Ing. Kamil Ekštejn, Ph.D.
KIV FAV ZČU

V Plzni dne 30. května 2022