

## I. IDENTIFIKAČNÍ ÚDAJE

<b>Název práce:</b>	Analýza kombinování poziční a strukturální informace v grafových neuronových sítích
<b>Jméno autora:</b>	Adéla Schwanzerová
<b>Typ práce:</b>	bakalářská práce
<b>Fakulta:</b>	Fakulta jaderná a fyzikálně inženýrská (FJFI)
<b>Katedra:</b>	Katedra matematiky
<b>Oponent práce:</b>	Marek Dědič
<b>Pracoviště oponenta práce:</b>	České vysoké učení technické v Praze, Fakulta jaderná a fyzikálně inženýrská, Cisco Systems

## II. HODNOCENÍ JEDNOTLIVÝCH KRITÉRIÍ

<b>Zadání</b>	<b>průměrně náročné</b>
<i>Hodnocení náročnosti zadání závěrečné práce.</i>	
Zadání je náročné přiměřeně úrovni bakalářské práce. Hlavními body zadání jsou seznámení se s technikami strojového učení, grafových neuronových sítí, redukce složitosti v nich a numerickými simulacemi v dané literatuře. Experimentální část zadání je vcelku přímočaré rozšíření a kombinace již existujících metod, nicméně pro splnění této části je zapotřebí pochopení daného oboru a jeho otevřených problémů, což považuji za vhodné pro bakalářskou práci.	

<b>Splnění zadání</b>	<b>splněno s výhradami</b>
<i>Posudte, zda předložená závěrečná práce splňuje zadání. V komentáři případně uveďte body zadání, které nebyly zcela splněny, nebo zda je práce oproti zadání rozšířena. Nebylo-li zadání zcela splněno, pokuste se posoudit závažnost, dopady a případně i příčiny jednotlivých nedostatků.</i>	
Práce obsahuje všechny body zadání. Rešeršní část pokrývá v dostatečné šířce danou problematiku, nicméně úroveň porozumění je nízká a kvůli tomu některé zásadní koncepty nejsou vysvětleny či jejich popis obsahuje faktické chyby. V experimentální části jsou představeny výsledky několika experimentů, avšak přesný popis experimentů v práci chybí a výsledky nejsou interpretovány dostatečně na to, aby z nich bylo možné vyvodit závěry, které práce představuje. Korektnost výsledků je diskutabilní a napovídá příliš malému množství pokusů, kvůli nedostatečnému popisu experimentů nicméně nelze korektnost zhodnotit s jistotou.	

<b>Zvolený postup řešení</b>	<b>nehodný</b>
<i>Posudte, zda student zvolil správný postup nebo metody řešení.</i>	
Správnost zvoleného postupu řešení zadaného problému považuji za velmi obtížně vyhodnotitelnou z důvodu absence jeho popisu v práci. Teoretická část vůbec nepopisuje rozšíření předchozí literatury, které mělo být předmětem práce, praktická část představuje příklady aplikace vlastní metody na dva datasety, nicméně její obecný popis i zde chybí. Z textu není jasné, jak byla v řešení kombinována poziční a strukturální informace o grafu při jeho redukci složitosti, pouze že závěrečná predikce je počítána vynásobením těchto dvou přístupů. Diskuze jejich vlastností a relevance k poziční a strukturální informaci v tomto konkrétním nastavení v práci chybí.	

<b>Odborná úroveň</b>	<b>podprůměrná</b>
<i>Posudte úroveň odbornosti závěrečné práce, využití znalostí získaných studiem a z odborné literatury, využití podkladů a dat získaných z praxe.</i>	
Text práce obsahuje popis základních konceptů strojového učení, grafových neuronových sítí,	

jejich typů a technik redukce složitosti grafů. Tento poměrně široký popis je nicméně veden spíše povrchně a obsahuje řadu nepřesností a faktických chyb, které vypovídají o nízké úrovni vzhledu do dané problematiky a jejího pochopení. Tyto nedostatky jsou přítomny od základních konceptů strojového učení, kde například v popisu učení s učitelem (supervised learning) a učení bez učitele (unsupervised learning) jsou tyto dvě metody chybně rozlišeny podle provázanosti vstupních a výstupních dat v trénovací sadě a dostupnosti výstupních dat pro programátora. V popisu části konceptů zcela chybí jejich vysvětlení a představení motivace za konkrétní metodou či použitým vzorcem. Tento nedostatek považuji za zásadní u představení grafových neuronových sítí, techniky, na které staví celá práce. V této definici zcela chybí vysvětlení zavedené symetrické normalizace adjacenní matice grafu, která je důležitou součástí popisované metody. Zároveň je v textu nesprávně uvedeno, že matice  $B_k$  bývá nulová či vypouštěna, nicméně v odkazované metodě je tato operace pouze jinak vyjádřena. V technické části je softwarový balíček GeometricFlux.jl nesprávně označen jako doplňující balíček pro Pytorch, přestože tato dvě řešení spolu nesouvisí. Z odborného hlediska má dle mého mínění praktická část nejnižší úroveň z celé práce. V textu zcela chybí přesný popis provedených experimentů a jejich nastavení, jehož uvedení je vyžadovanou a běžnou praxí. Výsledky nicméně napovídají, že každý pokus nebyl proveden vícekrát s průměrováním jednotlivých výsledků, nicméně pouze jednou. Všechny výsledky kvůli tomu obsahují velké množství šumu, který v některých případech zcela převažuje nad zkoumaným jevem. Příkladem tohoto chování je Obrázek 4 a z něj vyvozený závěr, že nejlepšího výsledku model dosáhl při načtení 82% uzlů původního grafu. Tento závěr je kvůli šumu v datech zcela neopodstatněný a zavádějící. Stejně tak referenční model, se kterým je navrhované řešení srovnáváno, dosahuje dle obrázků 9, 10, 11 a 12 různé přesnosti, přestože se jedná o vyhodnocení stejného modelu na stejném datasetu. Ve výsledcích jsou srovnávány modely s různými hodnotami parametru multistep, přestože tento parametr udává pouze kolik kroků grafové redukce se provede, což by mělo odpovídat různému rozlišení výsledků zobrazených v obrázcích 9, 11 a 12 ve směru osy x, bez vlivu na výslednou přesnost. Kvůli těmto nedostatkům považuji všechny závěry experimentální části za neprůkazné. Závěr práce obsahuje tvrzení, že výsledky GNN skokově stoupají po překročení hodnoty lineární regrese, nicméně toto tvrzení chybně připisuje kauzální vztah v situaci, kdy je přirozené a pravděpodobné, že konstantní hodnoty pro lineární regresi jsou překročeny právě v úseku největšího růstu hodnot pro GNN.

### **Formální a jazyková úroveň**

### **podprůměrná**

*Posudte správnost používání formálních zápisů obsažených v práci. Posudte typografickou a jazykovou stránku.*

Práce má po formální a jazykové stránce nízkou úroveň. V první řadě považuji psaní práce v češtině za nešťastné a pro obor strojového učení spíše méně vhodné kvůli relativní absenci dostupné literatury a všeobecné nepoužívanosti či neexistenci mnoha klíčových pojmů v českém jazyce. V práci jsou často používány neformální výrazy (např. „matematika schovaná za neuronovými sítěmi“) a popisy použitých metod v praktické části jsou velmi vágní a nepřesné. V textu jsou obsaženy překlepy, které by bylo snadné odhalit pomocí nástroje na kontrolu pravopisu, některé odkazy (např. na straně 22 či u reference 65) jsou špatně formátované jako ?? a některé reference přetékají za hranice stránky. V teoretické části je na několika místech používáno značení, které ještě nebylo definováno (např. značení výstupů vrstev neuronové sítě jako matice  $H$  v definici ztrátové funkce) nebo je pro jeden koncept zavedeno více způsobů značení (např. značení výstupních příznaků v sekcích 2.3 a 2.3.1). Tabulka 1 je nepřehledná, obsahuje několik chybných překladů (např. přeučení jako overlearning či křížová entropie jako loss entropy), cca v půlce právě části jsou prohozeny sloupce s cizím pojmem a českým překladem. Zavedené značení pro normalizovanou adjacenní matici grafu je v přímém rozporu se značením zavedeným v definici grafové neuronové sítě na předchozí straně. V praktické části jsou všechny obrázky nedostatečně popsány v popisku přímo u obrázku, není tedy zřejmé, jaký jev obrázek ukazuje či které metody nebo přístupy srovnává. Popisky jednotlivých grafů jsou v angličtině. V sekci 7.2.2 se práce odkazuje na metodu Naive Bayes, která jinde v textu není popsána a její použití je v daném kontextu překvapující. Poslední odstavec kapitoly 7.2.2 měl pravděpodobně interpretovat výsledky pokusů, nicméně končí v půlce první věty a zbytek textu chybí. V popisku obrázku 12, textu a

nadpisu sekce 7.2.4 jsou použity 3 různé transliterace jména Čebyšev, z nichž ani jedna neodpovídá běžně používané variantě v češtině či angličtině. Celkově tedy považuji jazykovou a formální úroveň práce za velmi nízkou.

#### **Výběr zdrojů, korektnost citací**

#### **podprůměrné**

*Vyjádřete se k aktivitě studenta při získávání a využívání studijních materiálů k řešení závěrečné práce. Charakterizujte výběr pramenů. Posudte, zda student využil všechny relevantní zdroje. Ověřte, zda jsou všechny převzaté prvky řádně odlišeny od vlastních výsledků a úvah, zda nedošlo k porušení citační etiky a zda jsou bibliografické citace úplné a v souladu s citačními zvyklostmi a normami.*

Největší částí práce je rešerše literatury, která představuje danou problematiku od základních principů strojového učení po konkrétní metody využívané v praktické části. V práci je citováno poměrně velké množství zdrojů. Bohužel nezanedbatelná část zdrojů je vybrána nevhodně a v rozporu s citačními zvyklostmi. V práci je jako primární reference pro velkou část představovaných konceptů uveden článek na Wikipedii (např. reference 19, 31, 34 či 47) nebo článek z blogu (např. reference 14, 15, 16, 17, 18, 19, 20, 21, 22, 30 a 48) namísto původního vědeckého článku od autorů dané metody či postupu a to i v případě že takový zdroj existuje, je snadno dohledatelný a široce citovaný. Byť Wikipedie i blogy představují důležitou součást moderní vědecké praxe ve strojovém učení, nelze na ně spoléhat jako na jediné zdroje pro podstatnou část práce.

#### **Další komentáře a hodnocení**

*Vyjádřete se k úrovni dosažených hlavních výsledků závěrečné práce, např. k úrovni teoretických výsledků, nebo k úrovni a funkčnosti technického nebo programového vytvořeného řešení, publikačním výstupům, experimentální zručnosti apod.*

Hlavním vlastním výsledkem představené práce dle zadání mělo být využití a rozšíření metody redukce velikosti grafu při učení grafových neuronových sítí. Tento hlavní výsledek nebyl v práci teoreticky představen v dostatečné hloubce pro jeho další využití a navržené pokusy jsou neprůkazné.

### **III. CELKOVÉ HODNOCENÍ, OTÁZKY K OBHAJOBĚ, NÁVRH KLASIFIKACE**

*Shrňte aspekty závěrečné práce, které nejvíce ovlivnily Vaše celkové hodnocení. Uveďte případné otázky, které by měl student zodpovědět při obhajobě závěrečné práce před komisí.*

Rešeršní část práce je široká a představuje danou problematiku od obecných základů strojového učení až po konkrétní metody, na které práce navazuje, což hodnotím kladně a považuji za adekvátní pro bakalářskou práci. Bohužel na mě práce působí dojmem, že pochopení dané problematiky je velmi povrchní a nedostatečné pro vlastní odbornou práci. Praktická část a prezentace práce pak výrazně snižuje celkový dojem. Bakalářská práce má za cíl prokázat schopnost samostatné odborné práce, bohužel kvalita představeného výsledku tomuto cíli zcela neodpovídá. Při obhajobě se doporučuji zaměřit na srozumitelné vysvětlení cíle práce, důkladné představení navrhované metody a jejích výsledků ve vztahu k závěrům, které jsou z nich vyvozovány.

Předloženou závěrečnou práci hodnotím klasifikačním stupněm **F - nedostatečně**.

Datum: 20.1.2023

Podpis:

