



Posudek oponenta závěrečné práce

Oponent práce:	Ing. Daniel Vašata, Ph.D.
Student:	Pavel Slaninka
Název práce:	Reprezentace klasických dat pomocí kvantových stavů metodou rozděl a panuj
Obor / specializace:	Znalostní inženýrství
Vytvořeno dne:	11. června 2024

Hodnotící kritéria

1. Splnění zadání

- ▶ [1] zadání splněno
- [2] zadání splněno s menšími výhradami
- [3] zadání splněno s většími výhradami
- [4] zadání nesplněno

Zadání bylo splněno bez výhrad. Jedná se o téma, jehož teoretický základ je složitostí značně vybočující z běžné úrovně bakalářských prací.

2. Písemná část práce

88/100 (B)

Práce je logicky strukturovaná a po jazykové stránce velmi dobrá. Zdroje jsou relevantní a víceméně správně citované. Práce také obsahuje hezké vizualizace.

Po obsahové stránce mám však k práci několik výtek. Předně je potřeba zmínit, že práce je velmi obsáhlá. Důvodem však není obsáhlost témat, ale především značná redundance, kdy student v podstatě každou myšlenku jednou až dvakrát zopakuje v mírně obměněné podobě. V zásadě by se tedy bylo možné text zhutnit do zhruba polovičního až třetinového rozsahu, což by zjednodušilo čitelnost. Je ale třeba říci, že je práce i v této podobě dobře čitelná, a redundance podle mého názoru plyne spíše ze snahy studenta vysvětlit věci co nejvíce srozumitelně.

Asi hlavní výtkou je vyznění některých komentářů a závěrečné diskuse. Nelíbí se mi, že např. na stránce 87 na úplném konci se student tváří, jako kdyby algoritmus amplitude encodingu byla jeho originální práce, přitom tento algoritmus je mimo jiné popsán na začátku článku s divide and conquer algoritmem, který je hlavní náplní studentovy práce. Konkrétně Pseudocode 4 a 5 odpovídají Algorithm 1 z článku [27] (resp. tento přístup byl vlastně představen už v článku [10]). Taktéž citace divide and conquer algoritmu by měla být znovu uvedena v Pseudocode 6 (což je v podstatě parafráze Algorithm 3 z článku [27]). Chápu, že student to asi myslí tak, že ten algoritmus pochopil a pak sám vlastně z toho

pochopení napsal pseudokód, ale to neznámá, že je možné vynechávat citace a nedávat svoje parafráze do souvislostí s existujícími výsledky.

V podobném duchu se nese závěrečné shrnutí v kapitole 6 (nemusela by to být číslována kapitola). Ze studentova vzletného popisu se zdá, jako kdyby se jednalo o přelomové výsledky, které opravdu něco přinášejí. Ve skutečnosti se pouze jednalo a reimplementaci známých algoritmů, jejich experimentální evaluaci na extrémně malém vzorku bez toho nejzajímavějšího porovnání (viz další část posudku). Student navíc při popisu toho, jak to celé implementoval v qiskit, zapomněl zmínit, že amplitudové kódování umí už i samotná knihovna Qiskit v metodě initialize a bylo by tedy správné se vůči ní vymezit. Dále se ze studentova popisu může zdát, že se v práci lze dočíst, kdy je vhodné který algoritmus využít. To ovšem není pravda, nikde není zmíněno, pro které algoritmy strojového učení se která metoda přípravy stavů hodí. Nutno ovšem podotknout, že to ani nebylo náplní zadání práce. Student by se tedy spíš měl krotit ve vychvalování své práce a psát pouze o tom, co je v práci korektně uděláno.

Dále se v práci vyskytuje několik drobností, jako například: vynechání zmínky o platnosti uvedené rovnosti "až na globální fázi" v Definici 2.15; neoptimální značení při definici $\Phi(b)$ v Definici 3.3, kdy na pravé straně definičního vztahu není vektor b ; první vztah na straně 61 v této podobě není správný, protože na levé straně je vektor pravděpodobností a na pravé je lineární kombinace prvků Hilbertova prostoru (dle značení zavedeného v Def. 2.10); značně nevhodné a nepřehledné je použití stejného symbolu pro spojení vektorů a jejich součet po složkách (na což funguje typicky obyčejné $+$) na str. 74.; Diskuse o "partial trace" na straně 76 není úplně korektní. divide and conquer algoritmus nevytvoří smíšený stav, pouze pokud uvažujeme podsystém odpovídající jenom nosným qubitům, tento podsystém bude obecně ve smíšeném stavu, který můžeme z původního systému získat pomocí částečné stopy. ; Odkaz na repozitář s implementací by mohl být uveden i v kapitole 4 s poznámkou, že v příloze je detailnější popis struktury repozitáře.; při popisu třídy QuantumStatePreparation v části 4.1.1 by mělo být zřetelně vyznačeno, která je ta hlavní metoda nebo property, vracející požadovaný stav - resp. odpovídající kvantový obvod, který ten stav připraví.; obrázky v částech 5.2 - 5.5 jsou hodně redundantní. Např. obr. 5.17 je součástí obrázku 5.18 i 5.19. Všechny tyto 3 obrázky by se daly sloučit do jednoho.

Také se mi nelíbil formát odkazování na jiné části práce pomocí názvu dané části (např. sekce) a uvedením čísla v závorce. Příkladem je např. první věta na str. 57: "The algorithm introduced in the subsection Amplitude encoding method (4.2.3) of the chapter Implementation (4)..."

3. Nepísemná část, přílohy

95 / 100 (A)

Nepísemnou částí práce byla implementace základních algoritmů pro přípravu kvantového stavu. Dále byl proveden experiment analyzující některé aspekty složitosti uvedených algoritmů v případě přípravy stavu odpovídajícího jednotkovému vektoru s konstantními elementy variabilní délky a poté ověření funkčnosti implementace na několika málo dalších méně triviálních příkladech. Zdrojové kódy zpřístupněné v repozitáři jsou čitelné, neuvěřitelně intenzivně komentované (na jeden řádek kódu připadá cca 5-10 řádků komentářů) a umožňují využití dané implementace i replikování provedených experimentů.

4. Hodnocení výsledků, jejich využitelnost

85 /100 (B)

Nejpřínosnějším výsledkem je podle mě samotný text práce, který velmi hezkým způsobem popisuje základní úvod do kvantového počítání se zaměřením na přípravu stavů. Sice jsem v předešlé části posudku textové části práce vytýkal mnoho drobností, i tak se ale jedná o velmi povedený úvod do značně netriviální tematiky, který může být zejména pro další studenty cenný. Co se týče experimentální a implementační části, tak je přínosná především implementace algoritmu divide and conquer. U ostatních algoritmů se jedná buď o triviální úkol anebo již existuje implementace na úrovni samotné knihovny qiskit (amplitudové kódování). Není samozřejmě na škodu, že si to student zkusil sám, ale není to vlastně potřeba. Nejslabší částí pak byly samotné experimentální výsledky. V zásadě celých cca 90 stránek práce jsem se těšil na porovnání amplitudového kódování a divide and conquer algoritmu, které nakonec nepřišlo. Ačkoliv student mohl oba algoritmy pustit na přípravu stejného vektoru a porovnat, jak se budou výsledky lišit (tj. zda tedy má menší hloubka obvod očekávaný přínos), z nějakého záhadného důvodu to neprovedl a každý algoritmus pustil na přípravu jiného vektoru. To je podle mě velká škoda. Dále mi vadilo, že v části 5.1 nejsou vyzkoušeny také jiné vektory než triviální vektor se stejnými složkami. Dle mého názoru je možné očekávat velmi odlišná čísla (zejména po transpilaci) u různých jiných vektorů. Nakonec mi vadilo, že není implementace amplitudového kódování srovnána s defaultní implementací ve scikit. Toto srovnání lze provést velmi snadno a když jsem to zkušebně provedl, zdálo se mi, že produkuje mírně kratší obvody (provedl jsem ale pouze jedno pozorování). Zde je třeba říci, že student v zadání neměl za úkol provést nějakou důkladnou analýzu, takže výše uvedené výtky nejsou zásadního charakteru a jsou pouze takovým povzdechnutím. Lepší by dle mého názoru bylo obětovat 50 stránek textu práce a provést lepší experimenty.

Celkové hodnocení

89 /100 (B)

Práce se zabývá značně netriviální tematikou a je celkově na velmi dobré úrovni. Vzhledem k výše uvedeným nedostatkům však navrhuji hodnocení stupněm B.

Otázky k obhajobě

Kdybyste pustil algoritmus amplitudového kódování i algoritmus divide and conquer na stejná data - jak se budou lišit výsledky? Myslím při simulaci reps. při využití reálného hardware.

Instrukce

Splnění zadání

Posudte, zda předložená ZP dostatečně a v souladu se zadáním obsahově vymezuje cíle, správně je formuluje a v dostatečné kvalitě naplňuje. V komentáři uveďte body zadání, které nebyly splněny, posudte závažnost, dopady a případně i příčiny jednotlivých nedostatků. Pokud zadání svou náročností vybočuje ze standardů pro daný typ práce nebo student případně vypracoval ZP nad rámec zadání, popište, jak se to projevilo na požadované kvalitě splnění zadání a jakým způsobem toto ovlivnilo výsledné hodnocení.

Písemná část práce

Zhodnoťte přiměřenost rozsahu předložené ZP vzhledem k obsahu, tj. zda všechny části ZP jsou informačně bohaté a ZP neobsahuje zbytečné části. Dále posudte, zda předložená ZP je po věcné stránce v pořádku, případně vyskytují-li se v práci věcné chyby nebo nepřesnosti.

Zhodnoťte dále logickou strukturu ZP, návaznosti jednotlivých kapitol a pochopitelnost textu pro čtenáře. Posudte správnost používání formálních zápisů obsažených v práci. Posudte typografickou a jazykovou stránku ZP, viz Směrnice děkana č. 52/2021, článek 3.

Posudte, zda student využil a správně citoval relevantní zdroje. Ověřte, zda jsou všechny převzaté prvky řádně odlišeny od vlastních výsledků, zda nedošlo k porušení citační etiky a zda jsou bibliografické citace úplné a v souladu s citačními zvyklostmi a normami. Zhodnoťte, zda převzatý software a jiná autorská díla, byly v ZP použity v souladu s licenčními podmínkami.

Nepísemná část, přílohy

Dle charakteru práce se případně vyjádřete k nepísemné části ZP. Například: SW dílo – kvalita vytvořeného programu a vhodnost a přiměřenost technologií, které byly využité od vývoje až po nasazení. HW – funkční vzorek – použité technologie a nástroje, Výzkumná a experimentální práce – opakovatelnost experimentů.

Hodnocení výsledků, jejich využitelnost

Dle charakteru práce zhodnoťte možnosti nasazení výsledků práce v praxi nebo uveďte, zda výsledky ZP rozšiřují již publikované známé výsledky nebo přinášející zcela nové poznatky.

Celkové hodnocení

Shrňte stránky ZP, které nejvíce ovlivnily Vaše celkové hodnocení. Celkové hodnocení nemusí být aritmetickým průměrem či jinou hodnotou vypočtenou z hodnocení v předchozích jednotlivých kritériích. Obecně platí, že bezvadně splněné zadání je hodnoceno klasifikačním stupněm A.