

Posudek bakalářské práce

Elementární simulátor dynamiky jednoho qubitu

Autor práce: **Marcel Drdla**

V předložené bakalářské práci se autor zabývá numerickou simulací a experimentální realizací konstrukce libovolné kvantové operace s pomocí konečné posloupnosti základních operací. Konkrétně se tato práce zabývá operacemi sestávajícími z rotací polarizačního stavu kvantového bitu, které jsou předmětem autorových numerických simulací a následného experimentálního ověření. Autor ve své práci navrhl experimentální schéma, připravil jeho numerickou simulaci, zabýval se zpracováním naměřených dat a analýzou systematických chyb použité konstrukční metody.

Práce je psaná anglickým jazykem a sestává z úvodu, trojice hlavních kapitol, závěru, seznamu použité literatury a příloh. Autor taktéž dodává naměřená data, zdrojové kódy programů použitých k jejich zpracování a taktéž zdrojový kód simulace. V úvodní kapitole autor představuje základní myšlenku a teoretický základ práce, tedy metodu konstrukce libovolných operací s pomocí konečné posloupnosti základních operací. Následující kapitola shrnuje použité teoretické poznatky vztahující se k experimentální realizaci, analýze schématu experimentu a ke zpracování dat.

Navazuje hlavní kapitola práce (kapitola 3), ve které autor popisuje samotnou simulaci řešeného problému, představuje schéma experimentální realizace, analyzuje navržené schéma a diskutuje výsledky měření. V této kapitole autor odvozuje rovnice pro výpočet parametrů optických komponent použitých v experimentu a vysvětluje numerické metody jejich určení. Správnost odvozených rovnic autor dokládá jejich srovnáním s původním zněním teoretické formule na které je práce založena. Dále již autor prezentuje výsledky experimentu a diskutuje systematické chyby měření. Navrhuje metody korekce těchto chyb a diskutuje jejich účinnost. Kapitola končí představením výsledků s aplikovanou korekcí systematických chyb.

Z obsahu práce je zřejmé, že autor nastudoval a vstřebal značné množství informací z různých oblastí a disciplín. V práci využil nejen numerických simulací, počítačového řízení experimentu, rekonstrukce kvantových stavů z naměřených dat, ale také navrhnul, analyzoval a sestavil experiment.

Bohužel samotné zpracování bakalářské práce trpí řadou nedostatků a působí dojem rané pracovní verze. Tento dojem umocňuje přítomnost překlepů a chyb v řadě matematických rovnic, nedostatečné popisy grafů a celková zmatenost organizace textu. Některé formulace působí nejasně a kostrbatě, v daném kontextu nepatřičně. Práce není příliš čtivá, což může být způsobeno volbou anglického jazyka. Neúplný výčet připomínek uvádím níže.

Předložený text splňuje požadavky kladené na bakalářskou práci a tedy ji **doporučuji k obhajobě**. S ohledem na zpracování textu, dosažené výsledky a jejich prezentaci navrhuji hodnocení známkou **C**.

Mgr. Jan Provazník

K předložené práci mám následující dotazy.

1. V rovnici (1.1) je na pravé straně špatné znaménko v argumentu exponenciální funkce. Tato rovnice je převzatá z odkazovaného článku [2], ve kterém je taktéž špatně. Používáte v práci její správnou variantu?
2. V rovnici (1.2) se na levé straně nachází řada překlepů. Můžete tuto rovnici uvést v opravené formě?
3. Ve stejné rovnici (1.1) se vykytuje parametr M , jehož hodnota je dále v textu (strana 14) bez bližšího vysvětlení určena jako $M = N^2$. Objasněte tuto volbu.
4. Rovnice (1.3) v uvedené formě neplatí. Na pravé straně se v této formulaci vyskytují členy $A^2\delta t^2$ a $B^2\delta t^2$, které není možné zahrnout do chyby $O(\delta t^3)$ jak naznačuje navazující text. Objasněte, popřípadě uveďte správnou formu této rovnice.
5. Jak vypadá konečná korekční operace U_{corr} zavedená v rovnici (3.8)?
6. Na stranách 26, 27 a 28 pravděpodobně představujete konečné výsledky experimentu, nicméně strohé komentáře pod jednotlivými grafy neobjasňují situaci. Celý blok výsledků je pak shrnut jedním odstavcem o čtyřech řádcích na straně 28.
 - (a) Můžete popsat co jednotlivé grafy představují, resp. objasnit z čeho je možné usoudit, že se jedná o správná řešení?
 - (b) Představujete zde pět případů volby parametru N . Můžete shrnout v čem jsou jednotlivé volby lepší nebo horší, než jiné?
7. V závěru práce tvrdíte,

Another mistake is that the MaxLik method when reconstructing the density matrix may not be accurate enough and therefore the reconstructed matrix does not completely correspond to the measured data.

nicméně v samotném textu práce tyto možné chyby nediskutujete. Máte představu o jejich charakteru, případně jejich vlivu na experiment? Máte představu nějaké alternativní metody rekonstrukce?

Doplňující připomínky a podněty pro autora práce, formou zpětné vazby.
Nejedná se o připomínky, na které je nutné odpovídat během obhajoby.

1. Pro symbol násobení se obvykle používá symbol \cdot (sázený makrem `\cdot`), výsledek vypadá mnohem lépe, např.

$$x \cdot y \quad \text{vs.} \quad x.y .$$

2. Úvod práce je zpravidla motivační, uvádějící práci a její význam do kontextu současného výzkumu, představující členění práce, použité konvence a symboly. Detailní představení použitého teoretického základu je obecně vhodnější provést v kapitolách zabývajících se teoretickým pozadím.
3. Pokud tvrdíte, že nějaký parametr představuje čas a vzápětí říkáte, že představuje libovolný úhel (jeho část), v lepším případě jen zmatete čtenáře.
4. Pokud představujete nějakou rovnici, používejte již zavedené symboly a operace, popřípadě je zaveďte spolu s rovnicí. Není-li to vysloveně nevyhnutelné, neodkazujte na budoucí text, ale na předchozí. Příkladem tohoto nešvaru je například rovnice (1.5) a příslušný text jí předcházející.
5. Některá tvrzení jsou v kontextu jiných špatná, příkladem budiž rovnice (2.6) ve které efektivně definujete čistotu všech stavů (i smíšených) rovnou jedné, neboť v kontextu předešlého $J^\dagger J = 1$ tvrdíte, že je vždy rovna jedné. V této rovnici rovněž zmiňujete matici hustoty, kterou ale zavádíte až dále v textu.
6. Na stránce šest zavádíte Hammerovu projekci. Vzhledem k tomu, že ji používáte dále v textu práce, bylo by dobré ji definovat, tedy uvést jak z dané matice hustoty, potažmo vektoru v Blochově sféře získáme bod v této projekci.
7. V sekci 2.2 zavádíte optické zpožďovače, představujete polarizátory apod., nicméně ani jednou se neodkazujete na literaturu, ze které vycházíte.
8. Sekce 2.4 by si zasloužila ilustraci toho, jak taková příprava a měření (projekce) vypadá, jak jsou umístěny jednotlivé destičky.
9. Používáte metodu maximální věrohodnosti (maxlik) pro odhad parametrů, resp. pro rekonstrukci matice hustoty. Věřím, že by si sekce 2.5 zasloužila rozšíření o lepší popis této metody a případnou diskusi ohledně jejího vlivu na vlastnosti rekonstruovaných stavů, zvláště v kontextu závěru Vaší práce.
10. Popisky grafů by měly být plnohodnotné. Pokud graf i s popiskem vystřihnete a dáte čtenáři, měl by být schopen pochopit co graf zobrazuje, co je na něm důležité a co se snažíte sdělit. V samotném textu práce by měl být tento popis rozšířen a vysvětlen v kontextu použití grafu. Tohle se týká **všech** grafů v práci. Popis toho co znamenají jednotlivé symboly není dostačující.
11. Na straně 21 zmiňujete možné způsoby srovnání unitárních operací, nicméně z textu není jasné, kterou metodu jste zvolil. Vzhledem k tomu, že výše mluvíte o shodě s hodnotami zobrazenými v grafu 2.3, je vysoce pravděpodobné, že se jedná o využití C—J isomorfismu, nicméně text to neuvádí.

12. Pokud mluvíte o následujících grafech (např. strana 25), uvádějte explicitní číslování. Vzhledem k tomu, že \LaTeX umísťuje grafy podle svého uvážení a vzhledem k tomu, že následující grafy jsou všechny následující grafy, může být čtenář oprávněně zmaten.