

**Názov práce:** Benchmarking of the IBM Quantum computer  
**Autor práce:** Rudolf Maďoran  
**Vedúci práce:** doc. RNDr. Martin Plesch, Ph.D.  
**Oponent:** RNDr. Daniel Reitzner, PhD.

---

Vzhľadom na to, že ide o opakovane posudzovanú prácu, budem sa v tomto hodnotení odvolávať aj na predošlú. Tú som vtedy hodnotil známkou nevyhovujúci (F).

Cieľom práce je testovanie možností súčasne dostupných kvantových počítačov, konkrétne tých, ktoré poskytuje firma IBM pre voľné použitie. Vzhľadom na to, že tieto technológie sú po experimentálnej stránke ešte len v počiatočnom štádiu, majú veľké množstvo nedostatkov. Je preto vhodné poznať ich limity. Predložená práca sa o to snaží implementáciou algoritmu pre kompresiu stavov. Na rozdiel od klasických výpočtov, kedy je možné stavy kopírovať prakticky bez obmedzení, kvantové stavy takéto kopírovanie neumožňujú, a preto je vhodné mať možnosť uchovávať aj viacnásobné kópie stavov. Výhodou je, že takýto celkový stav je symetrický a je možné ho skomprimovať na exponenciálne malý podpriestor. Ciele práce sú tak stanovené aktuálne.

Samotná práca má evaluačný charakter, je písaná po anglicky a je rozdelená na 5 kapitol a predslov (Introduction). Cieľom prvej kapitoly *Introduction of quantum computing* je prezentovať základné princípy kvantového počítania, v druhej kapitole *Quantum Schur-Weyl Transform* študent prezentuje implementovaný algoritmus, ktorý je následne testovaný v tretej kapitole s názvom *Results of the testing*. Nasleduje kapitola *Analysis*, ktorá je nasledovaná záverom, *Conclusion*.

Práca sa oproti prvej verzii výrazne zlepšila, ako po stránke získaných výsledkov, tak aj po stylistickej. Z hľadiska výsledkov pribudli viaceré dôležité definície, ako aj, podľa mňa, dôležitá situácia resetu nepoužívaného qubitu. Získané výsledky sú spísané zmysluplnejšie a majú logický postup. Sú stále prezentované spôsobom vymenovania a popísania možností bez hlbšej syntézy. Analýza výsledkov je písaná veľmi nejasne s používaním vedecky nejednoznačných alebo nedefinovaných pojmov (napr. *mask*, alebo *collaps*, ktorý má v kvantovej fyzike jasne definovaný význam), čoho dôvodom je pravdepodobne aj slabšia angličtina ako by bolo potrebné. Tá je výrazným nedostatkom tejto práce a jej slabá znalosť nedovolila študentovi vyjadriť svoje myšlienky jasne a presvedčivo.

Po stylistickej stránke sa práca tiež zlepšila, ale nie až do tej miery ako získané výsledky. Boli síce doplnené definície, vylepšila sa jazyková stránka, priložené obrázky sú prezentované rozumnejšie, avšak úvod do kvantových princípov ostal na veľmi zlej úrovni. Samotný algoritmus je uvedený tiež len formou prezentovania implementovaného obvodu bez motivácie; je však doplnený o študentove výpočty.

Predstavy študenta v práci sú veľmi zjednodušené a definície dosť vágne. Napríklad samotná definícia qubitu neobsahuje ani základné matematické náležitosti. Použité brány sú

definované prakticky len slovne, pričom kontrolované operácie sú tam definované cez maticový formalizmus. To je nevhodné hneď z dvoch dôvodov — jednak by bolo vhodné definovať skôr celú kontrolovanú operáciu, avšak tiež nikde nie je definované, čo reprezentuje daná matica, a aký vzťah má k definícii qubitu. Nehovoriac o tom, že v práci sa využívajú qubitové registre, o ktorých nie je ani zmienka. Ďalším výrazným prvkom pri kvantovom výpočte sú merania, ktoré prakticky ani nie sú formálne predstavené. Kapitola *Introduction of quantum computing* je teda napísaná tak, že čitateľ bez znalostí tohoto odboru nebude vedieť čítať zvyšok.

Zatiaľ čo prvá kapitola je celkovo napísaná zle, vo zvyšných kapitolách už ide skôr len o rôzne lokalizované štylistické prehrešky. Niektoré príklady (z mnohých) sú:

- Nekonzistentnosť v značení, napr. Fig. 2.1, kde stavy sú inak označené ako v texte (ide o obrázok kopírovaný z článku).
- Rôzne prehrešky proti matematickým zápisom, ako napr. (2.7) a (2.8), ktoré popisujú ten istý stav, ale sú oddelené bodkou, alebo nejasný výpočet parametrov matíc  $U_1$  a  $U_2$  prezentovaný vzorcami (2.38)–(2.62) ako súvislý výpis vzorcov bez pomocných vysvetlení, či zle čitateľné zápisy ako napr. v (3.1), kde  $\sqrt{3}\alpha^2\beta$  je nahradené  $\sqrt{3}1^20$ .
- Nejasné, alebo chybné formulácie, ako napr. na str. 12, v Sec. 2.4.1, kde unitárna matica je prezentovaná cez pravdepodobnosti kolapsu qubitov (dva nesúvisiace javy), alebo viacnásobné použitie názvu CNOT (controlled-NOT) tam, kde by malo byť len NOT.
- Zbytočné časti výpočtov, ako napr. (2.15), ktorá sa ďalej nepoužíva, alebo zvláštne rozpísaný vzťah (3.2) — ak je jasné čo sa deje so stavom, tak to netreba nasilu rozpisovať.

Ešte pred prezentovaním môjho hodnotenia mám pre študenta dve otázky:

1. Vysvetlite, ideálne na príklade, limitácie vami zvolenej fidelity a skúste načrtnúť, ako by sa jej nedostatky dali odstrániť.
2. Vo vašich výsledkoch majú stavy  $|ttt\rangle$  a  $|+++ \rangle$  (do istej miery to platí aj pre stav  $|uuu\rangle$ ) fidelity po kompresii a dekompresii väčšiu ako len po samotnej kompresii. Viete vysvetliť aké sú pre to dôvody?

Ak mám teda prácu hodnotiť celkovo, tak zatiaľ čo získané výsledky sú na uspokojivej úrovni (niekde na úrovni hodnotenia C), ich prezentácia, ako aj úvod do problematiky nie sú a známku študentovi zhoršujú. Práca prešla dostatočnými pozitívnymi zmenami, aby som ju odporučil uznať, avšak vzhľadom na stále výrazné množstvo pretrvávajúcich výhrad k jej prezentácii ju hodnotím stupňom vyhovujúci (E).

Brno, 5. februára 2021

RNDr. Daniel Reitzner, PhD.