

Quantum Computing @ FII

Tema 2 - Laborator

Termen limită a temei: 15 ianuarie 2025

1. (10p) Construiți cate un circuit cuantic care construiește următoarele stări:

a. $|\varphi_1\rangle = \frac{1}{2}(|00\rangle + i|01\rangle + |10\rangle + i|11\rangle)$;

b. $|\varphi_2\rangle = \frac{1}{\sqrt{3}}(|110\rangle + |101\rangle + |011\rangle)$.

Presupune că toți qubitii sunt inițializate în starea $|0\rangle$. Pentru a construi circuitul puteți folosi următoarele porți cuantice de 1-qubit:

$$X = \begin{pmatrix} 0 & 1 \\ 1 & 0 \end{pmatrix}, \quad H = \frac{1}{\sqrt{2}} \begin{pmatrix} 1 & 1 \\ 1 & -1 \end{pmatrix}, \quad S = \begin{pmatrix} 1 & 0 \\ 0 & i \end{pmatrix}, \quad R_y = \frac{1}{\sqrt{3}} \begin{pmatrix} 1 & -\sqrt{2} \\ \sqrt{2} & 1 \end{pmatrix}.$$

În Qiskit, poarta RY este $\text{circuit.ry}(\theta)$, unde unghiul de rotație $\theta = 2 \cdot \arcsin\left(\frac{\sqrt{2}}{3}\right) \approx 1.91063$. De asemenea, puteți utiliza și porți controlled-U sau controlled-controlled-U, unde U poate fi orice poartă menționată mai sus.

2. (18p) (Teleportarea stării $|\psi\rangle$). Să presupunem că Alice vrea să îi transmită lui Bob qubitul $|\psi\rangle = \frac{1}{\sqrt{2}}(|0\rangle + i|1\rangle)$. Știm că Alice și Bob împart o stare entangled de doi qubiti din baza Bell. Deci Alice va deține doi qubiți: qubitul pe care vrea să îl transmită și o jumătate din perechea lui Bell, iar Bob are un singur qubit. Alice măsoară cei doi qubiți în baza Bell, utilizând un circuit care include poarta CNOT și poarta Hadamard, urmate de măsurători pe cei doi qubiți și trimite rezultatul măsurătorii (adică biții 00,01,10, sau 11) lui Bob printr-un canal clasic de comunicație. După ce Bob primește mesajul, el știe în ce stare se află qubitul. Folosind această informație, Bob va aplica operații unitare (I, X, Z) astfel încât să obțină starea $|\psi\rangle$, adică starea qubitului trimis de Alice.

Cerințe:

- a) (2p) Inițializați starea $|\psi\rangle = \frac{1}{\sqrt{2}}(|0\rangle + i|1\rangle)$ pe primul qubit.
b) (2p) Implementați un circuit care crează o pereche a lui Bell de doi qubiți.
c) (14p) Implementați protocolul de teleportare cuantică descris mai sus. Afișați și interpretați rezultatele.
3. (12p) Să presupunem că aveți o stare de 3-qubiți, care se află în una din următoarele două stări

$$|\varphi_0\rangle = \frac{1}{\sqrt{3}}(\theta^2|010\rangle + |100\rangle + \theta|001\rangle), \text{ sau}$$

$$|\varphi_1\rangle = \frac{1}{\sqrt{3}}(|100\rangle + \theta|010\rangle + \theta^2|001\rangle),$$

unde $\theta = e^{\frac{2\pi i}{3}}$. Efectuați operațiile unitare necesare, respectiv măsurătorile necesare pentru a vă da seama în care dintre cele două stări se află qubitul și returnați 0 dacă qubitul este în starea $|\varphi_0\rangle$ respectiv 1 dacă se afla în starea $|\varphi_1\rangle$. Descrieți strategia voastră pentru a distinge cele două stări de 3-qubiti. *Starea qubitului după aplicarea porților nu este importantă.*

Observații:

- Termenul limită pentru încarcarea temei 2 pe formular este de 15 Ianuarie 2025.

- Tema va fi realizată în Python, utilizând Qiskit, iar fisierul *.py sau *.ipynb (sau link-ul catre Google Colab - nu uitati să dati acces) se va încărca înainte de a fi prezentat la laborator, în următorul formular <https://forms.gle/RBqq5EFdnJLmTSsF6>

În situația în care aveți mai multe fișiere de încărcat, creați o arhivă *.zip și încărcați-o la aceeași adresă.

- Punctajul pentru temă va fi acordat, numai după prezentarea temei profesorului de laborator.
- Punctajul final al temei se împarte la 10.