

Kjubi i kvantno računarstvo

Kako kvantni i klasični računari rade zajedno

Sara Vilotić

Matematički fakultet
Univerzitet u Beogradu

Beograd, 2026.

Literatura

- P. W. Shor, Algorithms for quantum computation: discrete logarithms and factoring, 1994.
- Wikipedia, *Kvantna mehanika*, *Šredingerova mačka*, *Kvantni računar*, <https://sr.m.wikipedia.org/sr>
- Edward Farhi et al., A Quantum Approximate Optimization Algorithm, 2014.
- Jaeho Choi i Leo Zhou et al., QAOA tutorial i implementacije.

Pregled

- 1 Uvod
- 2 Kvantni bit - kjubit
- 3 Hibridni pristup
- 4 Izazovi i budućnost
- 5 Zaključak

Uvod u kvantno računarstvo

- Kvantno računarstvo primenjuje kvantnu mehaniku za efikasnije rešavanje problema
- Osnovna jedinica: **kjubit** (superpozicija 0 i 1)
- Superpozicija omogućava paralelno računanje
- Primer: **Šorov algoritam** za faktORIZACIJU velikih brojeva



Fizička struktura kvantnog računara

Kjubiti

- Kjubiti se predstavljaju kao vektori u \mathbb{C}^2 :

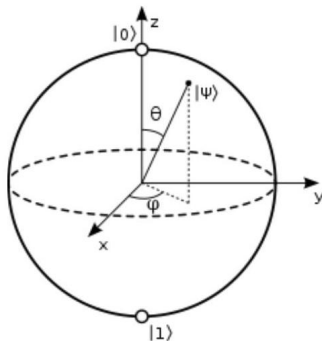
$$|0\rangle = \begin{pmatrix} 1 \\ 0 \end{pmatrix}, |1\rangle = \begin{pmatrix} 0 \\ 1 \end{pmatrix}$$

- Superpozicija:

$$|\psi\rangle = \alpha|0\rangle + \beta|1\rangle, \quad \alpha, \beta \in \mathbb{C}, \quad |\alpha|^2 + |\beta|^2 = 1$$

- Prilikom merenja kubit, superpozicija se gubi i kubit prelazi u jedno od klasičnih stanja.

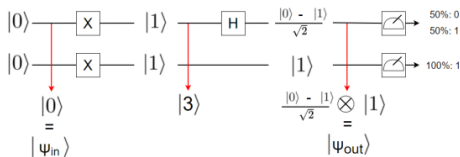
Blohova sfera



Slika: Blohova sfera – vizualizacija superpozicije kubit

Kvantna kola

- Kvantna kola su niz logičkih kapija koje transformišu stanja kubitova
- Kvantno kolo se sastoji od kubitova u početnim stanjima i niza kvantnih logičkih kapija koja menjaju njihova stanja.
- Višekjubitske kapije omogućavaju **upetljanost** (entanglement)
- Na kraju kola vrši se **merenje**, dobijaju se klasični rezultati



Slika: Primer kvantnog kola od 2 kubitova

Hibridni sistemi

- Hibridni pristup podrazumeva spregu koju čine parametrizovano *kvantno kolo* i *optimizer*
- Primer: **QAOA** – Quantum Approximate Optimization Algorithm
- Jedan od najperspektivnijih pristupa u okviru varijacionih kvantnih algoritama, sa ciljem efikasnog rešavanja problema kombinatorne optimizacije.

Primene QAOA algoritma

- Maksimalni rez (**Max-Cut**)
- Maksimalni nezavisni skup (**MIS**)
- Binarni linearni najmanji kvadrati (**BLLS**)
- Multi-Knapsack problem
- Stvarni svet: faktORIZACIJA, optimizacija portfolija, detekcija objekata, sumarizacija teksta

Biblioteke i SDK za kvantno programiranje

- predstavljaju skup alata, funkcija i gotovih kodova
- nudi simulatore kvantnih kola

Biblioteka / SDK	Jezik	Simulacija	Stvarno izvršavanje	Napomena
Qiskit (IBM)	Python	25–30 kubit	5–127+ kubit	Najrašireniji ekosistem
Cirq (Google)	Python	25–30 kubit	10–30+ kubit	Fokus na NISQ
PennyLane	Python	20–30 kubit	Više backend-a	Hibridni QML
Microsoft QDK	Q#, Python	20–30 kubit	Azure Quantum	Enterprise alat
AWS Braket	Python	25–30 kubit	Više provajdera	Cloud pristup

Izazovi i budućnost kvantnog računarstva

- **Dekoherencija** – gubitak koherencije kvantnih stanja
- **Greške u operacijama** – buka i nepreciznost u kontrolnim pulsovima
- **Skalabilnost** – teško povećanje broja stabilnih kubitova
- Kvantni računari postaju dodatak klasičnim serverima
- Hibridni sistemi smanjuju vreme i resurse za složene zadatke
- Dugoročno značajna faza u razvoju računarskih tehnologija

Zaključak

- Hibridni sistemi omogućavaju efikasno korišćenje kvantnih i klasičnih računara
- Kvantno računarstvo obećava primene u kriptografiji, optimizaciji i simulacijama
- Hibridni sistemi predstavljaju prelaznu, ali dugoročno značajnu fazu u razvoju računarskih tehnologija.