

Kvantno masinsko učenje

Milan Bojic

Jun 2022

Sadržaj

1	Kvantno računarstvo	3
1.1	Osnovni pojmovi	3
1.2	Kvantno računarstvo	5
1.3	Kvantna informacija	5
2	Kvantno masinsko učenje	6

1 Kvantno racunarstvo

Pre nego sto se pocne pricati o Kvantnom masinskom ucenju, treba objasniti neki osnovni pojmovi da bi lakse razumeli ostatak rada

1.1 Osnovni pojmovi

Potrebni pojmovi su:

- Kubit (eng. Qubit)
- Kvantna kola (eng. Quantum Gates)
- Kvantna uvezanost (eng. Quantum entanglement)
- Kvantan memorija, Kvantni registri

Kubit

Kubit (eng. Qubit) je najmanja jedinica informacije u kvantnom računarstvu, slično bit-u u klasičnom računarstvu. Razlika od bita jeste u tome što kubit pored stanja 1 i 0, može da se nalazi i u superpoziciji između oba. Oni se mogu predstaviti formulom (koristeci "bra-ket" notaciju):

$$\langle \gamma \rangle = \alpha \langle 0 \rangle + \beta \langle 1 \rangle$$

Ovde su $\langle 0 \rangle$ i $\langle 1 \rangle$ zapravo stanja kao i kod klasičnog bita, a α i β su kompleksni brojevi koji predstavljaju amplitude zadatih stanja i za njih važi:

$$|\alpha|^2 + |\beta|^2 = 1$$

Posto stanje kubita ima dva stepena slobode sto dovodi do toga da amplitude se mogu zapisati kao:

$$\alpha = \cos \frac{\Theta}{2}$$
$$\beta = e^{i\phi} \sin \frac{\Theta}{2}$$

Takodje mozemo da vidimo da je $|\alpha|^2$ verovatnoca da se kubit nalazi u stanju 0, isto vazi i za $|\beta|^2$ i 1. Saznanje o tomo u kom stanju se nalazi kubit ce se dobiti merenjem kubita, tade ce da kubit izadje iz superpozicije i "pasce" u

stanje 1 ili stanje 0. U tom slučaju kubit će imati ponašanje kao i običan bit, ali ovako gubimo predjasnije kvantno stanje kubita. U fizičkom svetu kubit se može predstaviti kao polarizovani foton, pre čemu se dva stanja se uzimaju kao vertikalna i horizontalna polarizacija.

Kvantna kapija

Kvantna kapije (eng. Quantum Gates) su logički predstavljaju matricama i oni rade na određenom broju kubita. Matrice su unitarne sa oblikom $2^n \times 2^n$, gde je n broj qubita na kojim radimo. Neke od poznatih kola su: Hadamardovo kolo (stavlja kubit u superpoziciju), bit flip kolo (zamenjuje amplitude na kubit), ali nas najviše zanima rotaciono kolo:

$$R = \begin{bmatrix} \cos \Theta & -\sin \Theta \\ \sin \Theta & \cos \Theta \end{bmatrix}$$

Ovo kolo rotira kubite u prostoru, odnosno menja njihove amplitude za Θ radiana.

Kvantna uvezanost

Kvantna uvezanost (eng. Quantum entanglement) je fizički pojam gde su dva, ili više, kubita povezana tako da zajedno prave novo kvantno stanje. U čistim stanjima oni su matematički zapravo proizvodi tenzora amplituda:

$$\langle \gamma \rangle \otimes \langle \delta \rangle = \alpha_1 \alpha_2 \langle 00 \rangle + \alpha_1 \beta_2 \langle 01 \rangle + \beta_1 \alpha_2 \langle 10 \rangle + \beta_1 \beta_2 \langle 11 \rangle$$

I ovako napisano kvantno stanje se može razdvojiti na dva kubita. Ali postoje i kvantna stanja koja se ne mogu razdvojiti npr.

$$\frac{1}{\sqrt{2}} \langle 00 \rangle + \frac{1}{\sqrt{2}} \langle 11 \rangle$$

Zanimljiva stvar kod uvazanih kubita jeste u tome što dele informacije. Ako bi jedan kubit iz para odneli u neko veoma daleko mesto (na primer druga galaksija), i tamo bi ga izmerili mi bi smo dobili 0 ili 1, međutim drugi kubit bi takođe upao u određeno stanje i to u istom trenutni kad smo izmerili prvi daleki kubit. Ovo je zapravo gde se nalazi glavna različitost između klasičnog i kvantnog računarstva, ova pojava ne postoji u klasičnom računarstvu i ne može se "lako" simulirati.

Kvantni registri

Kvantni registri se sastoje od kvantnog stanja od m uvezanih kubita i može da se predstavljati do 2^m vrednosti stanja istovremeno. Kvantna memorija su uređaji koji čuvaju kvantna stanja fotona, bez da uništavaju kvantnu informaciju koja se nalazi u fotonu. Ovakva memorija zahteva koherentni sistem materije, jer bi u suprotnom kvantna informacija unitar uređaja bila izgubljena zbog nekoherentnosti.

1.2 Kvantno računarstvo

Kvantno računarstvo je vrsta računarstva gde se koriste kolekcije fizickih osobina kvantne mehanike kao što su superpozicija i kvantna uvezanost, tako da se izvrši neka kalkulacija. Uređaja koji izvršava kvantne kalkulacije zovu se **kvantni računari**. Kvantni računari se sastoje od kvantnih kola i elementarnih kvantnih kapija koje služe za prenos i manipulisanje kvantnih informacija. [2]

Jedna od glavnih primena Kvantnih računara jeste simulacija fizickih sistema, bilo oni kvantne ili klasične prirode.

1.3 Kvantna informacija

Kvantna informacija je informacija o stanju kvantnog sistema. O njihovim svojstvima bavi se **kvantna teorija informacije**. Takođe, kvantna informacija mogu izmeriti na isti način kao i klasična informacija koristeći se Šenonovom metodom. Odnosno, postoji jedinstveno merilo to jest funkcija nad kvantnim stanjem, koje je funkcija verovatnoće, kontinuiteta i sumiranja.[3] Ova funkcija se zove **von Neumann entropy** i za neki ulazni kubit ρ postoji ekvivalent u **Shannon entropy** H za neku slučajnu promenljivu X

$$S(\rho) = H(X)$$

Jos jedna od merila za kvantno stanje jeste merenje "istinitosti" (eng. Fidelity) između dva kvantna stanja $\langle\phi\rangle$ i $\langle\psi\rangle$. Neka je F funkcija koja meri osobinu, ona meri verovatnoću da merenjem stanja $\langle\phi\rangle$ dobijemo stanje $\langle\psi\rangle$. Izlaz funkcije je između 0 i 1, gde ako je izlaz 0 onda su dva stanja ortogonalna jedna od drugog, a ako je izlaz 1 onda su dva stanja jednaka.[3]

Odnost kvantne i klasicne teorije informacije

Kvantna i klasicna informacija se u dosta stvari razlikuju. Dok se klasicna informacija prolazi kroz sisteme sa dobro definisanim stanjima, moze se kopirati i pri procesom merenje se nemenja, Kvantna informacija je enkodovana u kvantnim sistemima, ne moze se kopirati i pri procesu merenje ona se menja. Takodje kvantna informacija ima neke osobine koje se ne mogu iskazati u klasicnoj informaciji, kao sto su superpozicija i kvantna uvezanost [1]

Kvantna teorija informacije se bavi:

1. Prenosjenju klasicnih informacija preko kvantnih kanala
2. Prenosjenju kvantnih informacija preko kvantnih kanala
3. Efekat kvantne uvezanosti na prenosjenje informacija

2 Kvantno masinsko ucenje

References

- [1] Dan C. Marinescu. *Classical and quantum information*. Academic Press, 2012. ISBN: 9780123838742; 0123838746.
- [2] Michael A. Nielsen and Isaac L. Chuang. *Quantum Computation and Quantum Information*. Cambridge University Press, 2010.
- [3] Vlatko Vedral. *Introduction to Quantum Information Science*. Oxford University Press, 2006.