

# Kvantno masinsko učenje

Milan Bojic

Jun 2022

# Sadržaj

<b>1</b>	<b>Kvantno računarstvo</b>	<b>3</b>
1.1	Osnovni pojmovi . . . . .	3
1.2	Kvantno računarstvo . . . . .	5
1.3	Kvantna informacija . . . . .	5

# 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  $\alpha$  i  $\beta$  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  $\Theta$  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 amplitude:

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

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 fizičkih 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 fizičkih 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  $\rho$  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 kvantan informacija ima neke osobine koje se ne mogu iskazati u klasicnoj informaciji, kao sto su superpozicija i kvantan uvezanost [1]

## References

- [1] Dan C. Marinescu. *Classical and quantum information*. 1st ed. Academic Press, 2012. ISBN: 9780123838742; 0123838746. URL: [libgen.li/file.php?md5=0886bacc67998d1abeaec35138da2fb1](http://libgen.li/file.php?md5=0886bacc67998d1abeaec35138da2fb1).
- [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.