

NIKOLA PAVLOVIĆ*

PRIMENA I FUNKCIONISANJE KVANTUM RAČUNARA

APPLICATION AND OPERATION OF QUANTUM COMPUTERS

UDK: 004:656.2+33

REZIME:

Ovaj rad se bavi teorijskim istraživanjem kvantnih računara, njihovog načina funkcionisanja i moguće generalne primene, kao i primene u kladu okruženju. U okviru prvog poglavlja analizirane su trenutne hardverske mogućnosti računara, kako personalnih, tako i serverskih mašina. Pored analiziranih ograničenja, prikazan je i razvoj interneta, načini i medijumi za prenos signala i vezu sa internetom, kao i njihove brzine sa osvrtom na mogući limit koji je dostignut. U drugom poglavlju predstavljen je quantum computing - kvantni računar i način kako radi. Zatim je definisano šta je kvantni bit (qubit), gde se nalazi i u kom broju unutar procesora kvantnih računara. Takođe, prikazana je i potencijalna primena kvantnih računara, kao i dosadašnja dostignuća na tom polju.

Ključne reči: Quantum, Qubit, Cloud, Superpozicija

SUMMARY:

This paper deals with the theoretical research of quantum computers, their way of functioning and possible general application as well as applications in the cloud environment. The first chapter analyze the current hardware capabilities of computers, both personal and server machines. In addition to the analyzed limits, the development of the Internet, ways and media for signal transmission and connection to the Internet as well as their speeds will be presented, with reference to the possible limit that has been reached. The second chapter will present quantum computing, the quantum computer, and how the quantum computer works. Then the specific of qubit will be discussed, where it is located -in what number within the processor of quantum computers. The potential application of quantum computers as well as previous achievements in that field will be presented.

Key words: Quantum, Qubit, Cloud, Superposition

* Nikola Pavlović, Visoka škola strukovnih studija za informacione tehnologije, Beograd, Savski nasip 7, nikola.pavlovic@its.edu.rs

1. UVOD

U skladu sa trenutnim nivoom tehnološkog razvoja u svetu, razvijene su i velike brzine pristupa internetu, kao globalnoj mreži. Pored toga, kompanije su svoju serversku opremu i/ili servise koje pružaju putem interneta (u zavisnosti od tipa arhitekture) izmestile u data centre radi lakšeg pristupa, veće redundatnosti i skalabilnosti, a na kraju, i manjeg troška. Međutim, trenutni tipični računar trenutno nije u stanju da u vrlo kratkim vremenskim okvirima odradi mnoštvo kompleksnih matematičkih proračuna. Takođe, ograničenja su i u skladišnim prostorima jer kompleksni proračuni najčešće zahtevaju enormnu količinu memorije.

Da trenutni problemi mogu biti rešeni govori u prilog tome i da su razvijeni kvantni računari na principu kvantne fizike. Njihova prednost se ogleda u eksponencijalno kraćem vremenu potrebnom za izvršavanje iste količine operacija.

Prvo poglavlje prikazuje cloud computing (CC) mašine u serverskom okruženju i bavi se prikazom trenutnih mogućnosti hardvera, kao i brzinom internet linka, dok se u okviru drugog poglavlja prikazuje princip rada quantum računara, uopšte kao i u cloud okruženju.

2. CLOUD COMPUTING (CC) MAŠINE U SERVERSKOM OKRUŽENJU

2.1. Istorijski pregled pristupa internetu

Početak umrežavanja udaljenih računara se bazirao na korišćenju telefonske parice kao medijuma za prenos signala. S obzirom na ograničenja, tadašnji dial-up pristup je imao brzine od 9,6 Kbps, 33 Kbps i 64 Kbps [6]. Kasnije su se razvijale brzine od 128 i 256 Kbps putem iste infrastrukture, ali različitog načina modulisanja signala. Popularna xDSL tehnologija je razvila brzine do 20 Mbps i najčešće je to asinhrona (ADSL) brzina preuzimanja i slanja, u zavisnosti od potreba. Nešto naprednija varijanta jeste VDSL tehnologija koja ima brzinu do 50 Mbps [7]. Sa porastom zahteva za sve većim brzinama i zahtevnim sadržajem na internetu, razvile su se i druge tehnologije prenosa internet signala poput kablovske televizije, bežičnih tehnologija, mobilne telefonije i optičkih kablova.

Kablovska infrastruktura se zasniva na prenosu signala putem koaksijalnog kabla i brzina je ograničena propusnom moći samog kabla. Teorijska brzina prenosa signala putem koaksijalnog kabla iznosi 172 Mbps (DOCSIS 3.0) [8], dok je stvarna propusna moć

manja zbog raznih spoljašnjih uticaja, pre svega elektromagnetnih smetnji. DOCSIS 4.0 tehnologija omogućava sledeću generaciju širokopojsnih mreža preko hibridnih optičkih koaksijalnih kablova (HFC), pružajući simetrične multi-gigabitne brzine, istovremeno podržavajući visoku pouzdanost, veliku sigurnost i malo kašnjenje i predstavlja značajno unapređenje u odnosu na DOCSIS 3.0.

Bežična tehnologija putem WiFi (Wireless Fidelity) je sveprisutna u svakom domu na frekvenciji od 2,4 GHz i 5 GHz i danas je poseduju svi moderniji uređaji. Ove dve frekvencije se najčešće koriste u lokalnoj mreži od uređaja do rutera u okviru stana, kuće ili kompanije. Međutim, WiMax tehnologija koja je zasnovana na standardu IEEE802.16 predstavlja način prenosa glavnog internet linka s jedne tačke do druge tačke bežičnim putem, čak i u uslovima smanjene optičke vidljivosti. Svakako je za velika rastojanja od nekoliko kilometara potrebno imati optičku vidljivost kako bi prenos nesmetano funkcionisao. Uobičajene brzine se kreću od oko 20 Mbps pa do 60 Mbps [9].

Mobilna telefonija je takođe uvela u svoju ponudu uslugu pristupa internetu. Prvi mogući pristup internetu je bio putem 2,5G GPRS tehnologije brzinama do 9,6 Kbps. Daljim razvojem smo došli do 2,75G (EDGE) mreže sa brzinom pristupa od 100 Kbps, zatim 3G (WCDMA) sa brzinom do 384 Kbps, 3.5G (HSDPA, HSPA, HSPA+) sa brzinom do 42 Mbps, 4G (LTE) sa brzinom do 150 Mbps, 4G+ (LTE-A) sa teorijskom brzinom do 979 Mbps i najnovije 5G sa brzinama preko 1 Gbps, pa čak i do 10 Gbps [10]. Sam razvoj i povećanje brzine prenosa podataka putem mobilne mreže bio je uslovljen sve „kvalitetnijim“ sadržajem (u pogledu zauzeća memorije i same veličine fajlova) na internetu.

Optički kablovi su najefektniji i najbrži medijum za prenos signala od jedne do druge tačke i njihovim razvitkom su ujedno menjani glavni internet linkovi i čvorišta u celom svetu. Kao osnovni signal za prenos podataka u optičkom kablju, koristi se svetlost. Brzine su najveće u odnosu na ostale tehnologije prenosa i iznose do 100 Gbps na 100 do 150 m razdaljine [11].

2.2. Trenutne mogućnosti hardvera računara

Brz razvoj softvera je doveo do toga da današnji hardver bude prevaziđen mogućnostima i zahtevima softvera. Istorijski gledano, razvoj procesora se zasnivao na povećanju njegove brzine, od početnih par MHz-a, a danas reda GHz-a uz istovremeno povećanje broja tranzistora na istom fizičkom prostoru

čipa. Vremenom se pokazalo da sama arhitektura jednojezgarnog procesora na učestalostima većim od 4 do 5 GHz nema efekta na učinak procesiranja i obrade podataka. Shodno tome, proizvođači su počeli da razvijaju višejezgarne procesore. Kako je tehnologija napredovala, umesto kompletno odvojenih jezgara sa svim njihovim logičkim jedinicama razvijeni su i procesori koji imaju određeni broj fizičkih jezgara, ali sa dodatkom i logičkih jezgara koji zapravo predstavljaju deljeni resurs jednog fizičkog jezgra. Tako su danas popularne arhitekture sa 4 fizička i 8 logičkih jezgara, 8 fizičkih i 16 logičkih jezgara kod personalnih računara, dok su kod serverskih procesora jezgra mnogo brojnija i tipična konfiguracija je 16 fizičkih i 32 logička jezgra. Najnoviji AMD serverski procesor (EPYC Rome) sadrži 64 fizička i 128 logičkih jezgara, dok Intelov (XEON PLATINUM) ima 56 fizičkih i 112 logičkih jezgara [1] [2]. Tehnologija izrade procesora se danas odvija u nanometarskoj tehnologiji, tipično 22 do 14 nm za novije procesore, a najnovija dostignuća su 7 nm.

Kada je u pitanju RAM memorija, njen trenutni standard je DDR4 sa brzinama oko 3.000 MHz. Količina RAM-a u tipičnom personalnom računaru je danas između 8 i 16 GB, dok je kod servera maksimalna podržana radna memorija od 2 TB, pa i više, po procesoru [1].

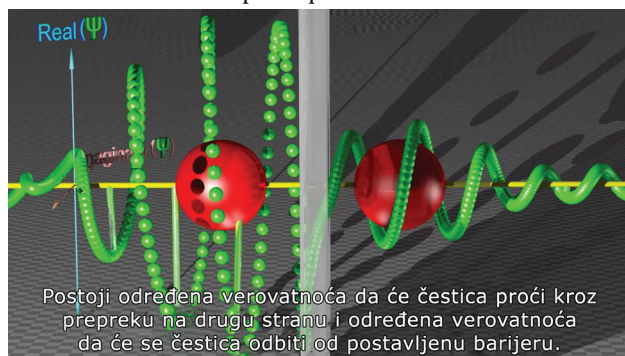
Što se tiče skladišnog prostora, glavni skladišni medijum je i dalje HDD – čvrsti disk zasnovan na tehnologiji magnetnih ploča i glave koja lebdi iznad površine i čita i upisuje podatke. Povećanjem kapaciteta, a smanjenjem prostora, došlo se do gustog pakovanja većeg broja ploča i glava koje čitaju i upisuju podatke što je dovelo i do smanjenja pouzdanosti čuvanja podataka na njima. Takođe, pristup podacima na disku je najčešće ograničen brzinom rotacije ploča i standardna brzina u personalnim računarima iznosi oko 5.400 rpm, dok se na serverima mogu naći i diskovi od 10.000 rpm i 15.000 rpm. Naravno, vreme pristupa je ostalo identično. Trenutni maksimalni kapacitet kojim raspolažu diskovi je 16 TB, ali se uskoro očekuje da Western Digital razvije nove MAMR tehnologije, dok je HAMR tehnologija Seagate-a već u beta fazi testiranja. Pomenute tehnologije izrade hard diskova su započele sa masovnijom proizvodnjom modela većih kapaciteta tokom 2019. godine, a predviđa se skladištenje podataka u PB (petabyte) na samo jednom disku kasnijim razvojem tehnologija. Trenutna procena je da se do 2023. godine mogu proizvesti diskovi kapaciteta između 20 i 40 TB [3].

Sam HDD je donekle zamenio i SSD – disk na principu fleš (flash) memorije. SSD disk je sastavljen potpuno od elektronike i logičkih kola i kao takav je otporniji na fizičke vibracije. Prednost SSD-a je u znatno manjem vremenu pristupa podacima. Dok se kod HDD-a vreme pristupa ogleda u mili sekundama, kod SSD diskova je često u nano sekundama. Takođe, brzine su znatno veće i u zavisnosti od interfejsa se kreću od 450 Mbps (SATA III) pa sve do 5.000 Mbps (M.2 NVMe PCIe x4) za čitanje dok su brzine upisa nešto manje [4]. Standardna sekvencijalna brzina za HDD je između 100 i 150 Mbps sa maksimalnom brzinom do 250 Mbps u pojedinim slučajevima [5].

Samo napajanje je takođe bitna stavka kao i hlađenje čitave serverske infrastrukture. Iako se nanometarskom izradom čipa i većim taktom omogućilo brže obavljanje operacija, nažalost, to nije umanjilo potrošnju električne energije, a ni samu radnu temperaturu.

S obzirom na nanometarsku izradu tranzistora i veće brzine radnog takta, komponente na malim čipovima se mnogo brže greju. Radi boljeg hlađenja, pored klasičnog vazdušnog, postoji i vodeno hlađenje. U ovom sistemu, za odvođenje toplote sa procesora i ostalih komponenti, koristi se tečnost.

Povećanjem brzine pristupa korisnika internetu, postao je veći saobraćaj na mrežnoj infrastrukturi kao i zahtevima prema serverima. Same serverske mašine moraju da obrađuju sve veću količinu zahteva u što kraćem roku, a ujedno i sve većem broju klijentskih uređaja. Pored svih poznatih trenutnih hardverskih limita, razmatraju se razni načini za dalje unapređenje. Opcija proizvodnje još većeg broja komponenti na istom fizičkom prostoru čipa i razvitka procesora na tehnologiji izrade manjoj od 7 nm, trenutno nije moguća jer su sami atomi približne veličine te elektroni mogu zaobilaziti barijere koje im se postavljaju i slobodno se kretati mimo željene putanje (poput prolaska barijere na slici 1) što može dovesti do veće stope nepouzdanosti.



Slika 1. Efekat Quantum tunnelinga [12]

Današnji računari nisu u stanju da obrade očekivano povećanje količine broja zahteva klijenata u budućnosti, u kratkom vremenskom periodu. Jedna od alternativa, koja je moguća, jeste primena Quantum tehnologije odnosno Quantum Computing.

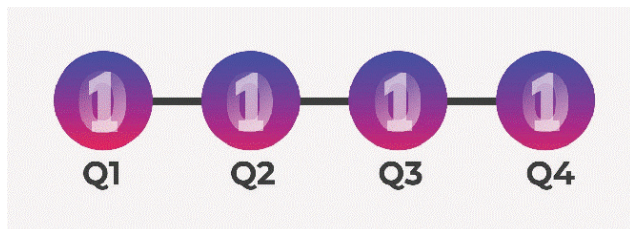
3. QUANTUM COMPUTING

Quantum Computing se zasniva na drugačijem metodu rada od klasičnog računara elektronskog sklopa. Dok klasičan računar radi sa bitima 0 i 1 kao osnovnim stanjima, quantum računar koristi kubit (qubit) [13]. Svaki kubit nema određenu fiksnu vrednost već se u trenutku pristupa njegova vrednost formira. Kubit može biti bilo šta u kvantnom sistemu što se prostire na dva nivoa poput spina, magnetnog polja ili fotona.

3.1. Princip rada quantum računara

Na primeru fotona, sam kubit može imati vrednost 0 i 1 kao i bit. Međutim, njegovu vrednost određuje njegova polarizacija koja može biti horizontalna ili vertikalna. Ali, u kvantnom svetu fizika ima potpuno druga pravila tako da kubit (u ovom slučaju foton) ne mora u svakom trenutku da ima jedno od ova dva stanja već ih može sadržati oba istovremeno. Takvo stanje se naziva superpozicija. Ovakvo stanje foton zadržava sve dok se slobodno kreće u prostoru, ali da bi se očitala njegova vrednost i upotrebila on mora biti polarizovan vertikalno ili horizontalno. U tom trenutku on dobija jednu od dve moguće vrednosti.

Kod klasičnog binarnog sistema, 4 bita mogu biti u jednom od 24 mogućih stanja u zadanom trenutku. To je 16 mogućih kombinacija od kojih se može koristiti samo jedna. Međutim, 4 kubita u superpoziciji mogu istovremeno biti u svakom od 16 mogućih stanja (slika 2) za razliku od običnog binarnog sistema [15].



Slika 2. Kubiti [14]

Broj kombinacija raste eksponencijalno sa svakim novim kubitom. To znači da svakim dodavanjem novog kubita može se paralelno posedovati sve veći broj vrednosti.

Postoji jedna čudna osobina kubita – uvezanost, a predstavlja zatvorenu vezu koja čini da svaki kubit reaguje na promenu stanja drugog kubita istovremeno, bez obzira na njihovu međusobnu udaljenost. Ovo znači da se prilikom merenja vrednosti jednog kubita, koji je u međusobnoj vezi sa drugim kubitom, istovremeno zna i koju vrednost ima drugi, bez dodatnog merenja vrednosti drugog kubita.

Takođe, logika u kvantnom svetu je drugačija. Dok obično logičko kolo ima jednostavan set ulaza i proizvodi jedan konačan izlaz, kvantno logičko kolo ima set superpozicija za ulaz i daje novu superpoziciju na izlazu. Prema tome, kvantni računar uzima kubite, primenjuje kvantna logička kola na njih i na kraju računa izlaz tako što superpozicije spaja u konačnu sekvencu nula i jedinica. Ovo znači da se istovremeno može dobiti više proračuna koji su mogući za dati ulaz. Na kraju može se izmeriti samo jedan od rezultata i to je moguće da bude traženi rezultat. Zbog same prirode kubita trebalo bi pomenuti izlaz ponovo proveriti. Detaljnijim istraživanjem superpozicije i međusobne veze kubita u budućnosti, ovakav način obrade podataka može biti eksponencijalno više efikasniji nego bilo koji trenutno mogući način koji bi postojao na klasičnom računaru.

3.2. Primena quantum računara u cloud okruženju

Analizom dostupnog sadržaja uočeni su stavovi da shodno svojoj kvantnoj prirodi, kvantni računari mogu biti primenjeni kao serverske mašine za baze podataka. Njihova prednost se ogleda recimo u bržoj pretrazi. Da bi tipičan računar našao potrebno u bazi podataka, on mora da joj pristupi, iščita svaki zapis iz nje dok ne nađe zadata vrednost. Kod kvantum računara vreme potrebno za istu operaciju je samo koren potrebnog vremena tipičnom računaru. Pretraga može biti brza ukoliko je mehanizam pretrage zasnovan na matematičkom modelu čiji je stepen kompleksnosti ispod kritične vrednosti, čime se garantuje da se rezultat proračuna može izmeriti na bazi osnovnih stanja uključenih kubita. U ostalim slučajevima kvantni računar je sporiji od konvencionalnog ekvivalenta.

Još jedna bitna primena kvantnih računara jeste u IT bezbednosti. Trenutno sve pretrage, mejlovi, bankarske transakcije su zaštićene sigurnosnim sistemom enkripcije koji pruža svakome javni ključ da kodira poruke dok samo računar na prijemnoj strani može da dekodira poslatu poruku. Problem

je što se javni ključ zapravo može iskoristiti za proračun privatnog ključa. Na sreću, potrebne matematičke formule za dekodovanje privatnog ključa na bilo kom normalnom računaru bi trajale godinama, sa sve pokušajima i greškama koje se dešavaju u tom procesu. Ali, kvantni računar sa eksponencijalnim ubrzanjem bi to mogao da uradi gotovo trenutno. Sama činjenica da kvantni računar ima toliko ubrzanje dovodi ga u pitanje za kućnu i komercijalnu upotrebu. Međutim, radi se na novom tipu enkripcije koje ni kvantni računari ne bi mogli da dekoduju u tako kratkom vremenskom periodu. Shodno ubrzanju, moguće je koristiti i duže i složenije algoritme za enkripciju.

Još jedna oblast primene kvantnih računara jeste za različite simulacije koje ni savremeni tipični računari nisu u stanju da projektuju kompleksne sisteme. Veliki potencijal samih kvantnih računara se može ostvariti i u polju mašinskog učenja i veštačke inteligencije. Sa druge strane, simulacija može biti brza jedino ukoliko je heuristički (ili meta heuristički) algoritam takav da garantuje da se rezultat proračuna može izmeriti na bazi osnovnih stanja uključenih kubita.

Google je 2019. objavio Quantum supremacy računar sa 53-kubitnim procesorom, koji je moćniji od bilo kog superračunara koji je do tada postojao za određene namene. Matematički proračuni koje su rešavali kvantnim računarem su bili rešeni za svega 200 sekundi, dok bi na klasičnom računaru takvi proračuni zahtevali desetine hiljada godina [16]. Postoje mnogobrojne kompanije, pored Google, koje se bave razvojem kvantnih računara kao što su Amazon, IBM, Microsoft i mnoštvo manjih kao Rigetti, D-wave i druge.

Kanadska firma D-wave je 2017. godine razvila jedan od najmoćnijih kvantum procesora sa 2.000 kubita [17]. Čitav kvantni računar ne može raditi u klasičnim uslovima kao svaki normalan računar. On zahteva posebne uslove skladištenja, radne temperature i potrebne resurse za rad. Trenutno se sami kvantni računari, odnosno procesori, skladište u ogromnim cilindrima (Aleutian Refrigerator) na temperaturama približnim apsolutnoj nuli (-273 stepena celzijusa) u vakuumskom prostoru. Trenutna struktura kvantnog računara se sastoji od čipa koji je standardne veličine. Unutar čipa postoje mali žičani kalemovi kroz koje protiče struja kvantnih karakteristika superpozicije. Kako kalemovi mogu da komuniciraju međusobno, generisanjem različitih i često komplikovanih stanja koja se nazivaju uvezana

stanja, možemo električnim signalima da upravljamo na koji način i u koje vreme kubiti mogu da budu u interakciji sa kubitima oko sebe. Zbog niske temperature ostvaruje se mogućnost superprovodnosti koja dozvoljava bitima da se ponašaju kao kubiti.

Sam cilindar odnosno arhitektura čitavog sklopa se sastoji od pet nivoa (slika 3). Svaki od tih pet nivoa predstavlja drugi stepen rashladnog sistema. Prvi konvertuje signale iz „normalnog sveta“ preko kalemovi i radi na temperaturi od -203 stepena celzijusa (7 kelvina). Drugi nivo radi na istom principu sem što koristi licnaste provodnike u kalemovima i radi na temperaturi od -269 stepeni celzijusa (4 kelvina). Oba nivoa su dovoljno rashlađena da su u stanju da kondenzuju helijum u tečnost kako bi sa bakarnih provodnika poslali signal putem superprovodnika (Niobium). Srednji stepen koristi helijum u vakuumu kako bi prebacio signale sa klasičnih provodnika dalje pod temperaturom od -272 stepena celzijusa (1 kelvin), četvrti snižava temperaturu na -273,05 stepeni celzijusa (0,1 kelvin), dok se u petom nalazi sam procesor sa svim prethodnim modulima zaštite od spoljašnjih temperaturnih i elektromagnetskih uticaja na temperaturi od -273,135 stepeni celzijusa (0,015 kelvina).



Slika 3. D-Wave kvantni računar [18]

Sam procesor sa svojom niskom radnom temperaturom je podešen i konfigurisan za određene namene i kao takav se može koristiti godinama. Međutim, ako se čip izvadi i zagreje na sobnu temperaturu, potrebno je i do dva dana da se vrati na svoju radnu temperaturu i do četiri nedelje za ponovnu konfiguraciju i podešavanje parametara.

Već postoji nekoliko kvantnih računara koji su iznajmljeni kao klad rešenje IBM-a kompanijama Goldman Sachs i J.P. Morgan. Ove kompanije su time postale deo Q mreže IBM-a i omogućile rad na kvantum mašinama i učenje programiranja samih kvantnih računara.

Trenutno ne postoji finansijska isplativost kvantnih računara u smislu zarade. Za sada se ulaže u njihov razvoj i potrebno je još puno vremena kako bi kvantni računar mogao da radi nešto korisno. Trenutni čipovi, u većini slučajeva, poseduju najmanje 53 kubita, a da bi računar bio koristan potrebno je da sadrži desetine do stotine hiljada kubita kako bi rešavao realne poslovne probleme. IBM u kladu ima svoje kvantne računare od 2016. godine.

Trenutna glavna upotreba kvantnih računara se svodi na simulacije u oblasti kvantne mehanike. Daljim razvojem, s obzirom da kvantni računar radi na nivou atoma, treba da ima mogućnost da razloži svaki molekul i predstavi ga u digitalnom obliku sa svim identifikovanim atomima što će biti značajno pre svega za zdravstvo i farmaciju.

Zemlje poput Kine i SAD su već investirale u obrazovanje i pokušavaju da privuku zainteresovane za školovanje o kvantnim računarima mnogobrojnim inicijativama i akcijama. Trenutno ne postoji savršen i upotrebljiv kvantni računar za rešavanje realnih problema, ali isto tako ni dovoljno obrazovan kadar za njegovu upotrebu. Stoga je glavni akcenat na daljim istraživanjima na povećanju broja kubita unutar samih čipova, kao i na obrazovanju ljudi. Iz tog razloga neke od pomenutih kompanija su pustile kvantne računare u klad primenu kako bi ljudi mogli da ih testiraju, uče o njima i proučavaju različite načine upotrebe.

Kada kvantni računari budu dostigli superiorniju moć i realnu primenu, mogu biti vrlo korisni u klad okruženju zato što pored njihove procesne moći ne troše energiju, niti proizvode toplotu, pa samim tim napajanje i rashladni sistem kvantnog računara, koji sada troše oko 25 kW, veoma su energetski efikasni. Što se tiče procesne moći, kvantni računari su primenljivi i isplativi u oblastima gde su potrebne razne simulacije, proračuni i matematička izračunavanja, koja prevazilaze

mogućnosti današnjih tipičnih računara poput astrologije, meteorologije, zdravstva i slično. Takođe, određena specijalizovana namena kvantnih računara u klad sistemima će predstavljati moćan alat za obradu složenih problema u već pomenutim oblastima.

4. ZAKLJUČAK

Kvantni računar koristi čestice poput elektrona, protona, fotona i sl. kao osnovni element unutar procesora. Sve te čestice imaju posebne osobine kvantne fizike koja se razlikuje od klasične fizike koju poznajemo. Moguće prednosti kvantnih računara, koji takođe rade sa bitima kao i obični računari, jeste to što čestice kod kvantnih računara mogu imati superpoziciju odnosno nositi dvostruku vrednost istovremeno. Vrednost same čestice se dobija tek prilikom njenog merenja. Time je omogućeno preračunavanje svih mogućih kombinacija istovremeno, čime se vreme obrade kompleksnih zadataka drastično smanjuje.

Pored navedenih osobina, prednost kvantnih računara je to što oni ne proizvode toplotu niti troše energiju. Energija koja se troši za njih je samo onoliko koliko je potrebno pokrenuti sam kvantni računar i davati mu instrukcije uz održavanje sistema hlađenja. Sami kvantni računari za svoj rad zahtevaju temperaturu blisku apsolutnoj nuli.

Njihova mana može biti trenutno teška konfiguracija i podešavanje s obzirom da svako vađenje čipa iz njegove radne temperature može zahtevati ponovnu kalibraciju u trajanju i do mesec dana.

Kada kvantni računari dostignu pun potencijal u rešavanju realnih problema, biće vrlo poželjni u klad okruženju zbog male potrošnje energije, brže obrade zahteva i veće procesne moći za realizaciju proračuna i drugih poslova baziranih na računskim operacijama određenog stepena kompleksnosti. Time će klijenti imati mnogo brži pristup uslugama. Značajne mogućnosti primene mogu biti u oblasti medicine za bolje i detaljnije analiziranje svih bolesti i lekova do nivoa atomskih čestica, kao i u meteorologiji i tačnijem proračunu vremenske prognoze.

LITERATURA

- [1] Hruska, "Epic Win: AMD's 64-core 7nm Epyc CPUs Leave Xeon Lying in the Dirt," Extreme Tech, 8 Avgust 2019. [Online]. Available: <https://www.extremetech.com/computing/296307-epic-win-amds-64-core-7nm-epyc-cpus-leave-xeon-lying-in-the-dirt>. [Accessed 15. februar 2020]

- [2] Intel, "INTEL® XEON® PLATINUM PROCESOR," Intel, Q2 2019. [Online]. Available: <https://www.intel.com/content/www/us/en/products/processors/xeon/scalable/platinum-processors.html>. [Accessed 15. februar 2020]
- [3] Denis G, "Hard Drive Revolution in 2020? Technology Clash: HAMR vs MAMR," MSP360, 28. avgust 2019. [Online]. Available: <https://www.msp360.com/resources/blog/hamr-vs-mamr-new-hdd-technology/>. [Accessed 16. februar 2020]
- [4] William Gayde, "PCIe 4.0 vs. PCIe 3.0 SSDs Benchmarked," TechSpot, 23. septembar 2019. [Online]. Available: <https://www.techspot.com/review/1893-pcie-4-vs-pcie-3-ssd/>. [Accessed 16 februar 2020].
- [5] Paul Rubens, "SSD vs. HDD Speed," Enterprise Storage, 16 januar 2019. [Online]. Available: <https://www.enterprisestorageforum.com/storage-hardware/ssd-vs-hdd-speed.html>. [Accessed 14. februar 2020].
- [6] International Telecommunication Union, "Data communication over the telephone network," International Telecommunication Union, 18. februar 2008. [Online]. Available: <https://www.itu.int/rec/T-REC-V/en>. [Accessed 8. februar 2020].
- [7] A. Đorđević, S. Đorđević and N. Živić, Nova upotreba bakarnih parica: xDSL tehnologija, Beograd: Naučnotehnički PREGLED, 2000.
- [8] Milan Kragujević, "Upoznajte EuroDOCSIS #1: neznani junak brzog kablovskog interneta," 7. januar 2020. [Online]. Available: <https://milan-kragujevic.com/upoznajte-eurodocsis-br-1-neznani-junak-brzog-kablovskog-interneta>. [Accessed 8. februar 2020].
- [9] D. Muratagić, WiMax tehnologija i njena perspektiva u okruženju mobilnih mreža četvrte generacije, Travnik: Internacionalni univerzitet Travnik - Fakultet politehničkih nauka, 2019.
- [10] IT base, "Standardi mobilnih mreža (2G, 3G, 4G\LTE, 5G)," IT base, 6. april 2019. [Online]. Available: <https://itbase.ba/vijesti/1211/standardi-mobilnih-mreza-2g-3g-4glt-5g>. [Accessed 9. februar 2020].
- [11] PC Press, "Kako realizovati 10 GbE i optičke mreže?," PC Press, 23. oktobar 2019. [Online]. Available: <https://pcpress.rs/kako-realizovati-10-gbe-i-opticke-mreze/>. [Accessed 15. februar 2020].
- [12] "Quantum tunneling," [Online]. Available: <https://i.pinimg.com/originals/06/d6/f3/06d6f329c3ebae10c5eaa17d9b9e46b8.jpg>.
- [13] University of Vaterloo, "INSTITUTE FOR QUANTUM COMPUTING," University of Vaterloo, [Online]. Available: <https://uwaterloo.ca/institute-for-quantum-computing/quantum-computing-101>. [Accessed 15. februar 2020].
- [14] "Qubits," [Online]. Available: https://www.researchgate.net/profile/Betsy_Villa_Brochero/publication/333248280/figure/fig1/AS:761078011146240@1558466546788/Representation-of-a-four-qubit-cluster-in-superposition.png.
- [15] F. D. L. Marquezino, R. Portugal and C. Lavor, A Primer on Quantum Computing, Bazel, Švajcarska: Springer, 2019.
- [16] J. Porter, "Google confirms 'quantum supremacy' breakthrough," The Verge, 23. oktobar 2019. [Online]. Available: <https://www.theverge.com/2019/10/23/20928294/google-quantum-supremacy-sycamore-computer-qubit-milestone>. [Accessed 3. februar 2020].
- [17] D-Wave, 2019. [Online]. Available: https://www.dwavesys.com/sites/default/files/D-Wave%202000Q%20Tech%20Collateral_1029F.pdf. [Accessed 10. februar 2020].
- [18] "D-wave quantum computer," [Online]. Available: <https://pbs.twimg.com/media/C7XFH7UW4AUzYRf.jpg>.