

Superračunala

Karlović, Ratomir

Undergraduate thesis / Završni rad

2016

Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj: **University of Pula / Sveučilište Jurja Dobrile u Puli**

Permanent link / Trajna poveznica: <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:137:468397>

Rights / Prava: [In copyright](#)/[Zaštićeno autorskim pravom.](#)

Download date / Datum preuzimanja: **2024-07-27**



Repository / Repozitorij:

[Digital Repository Juraj Dobrila University of Pula](#)



Sveučilište Jurja Dobrile u Puli
Odjel za informacijsko-komunikacijske tehnologije

RATOMIR KARLOVIĆ

SUPERRAČUNALA

Završni rad

Pula, 2016. godine

Sveučilište Jurja Dobrile u Puli
Odjel za informacijsko-komunikacijske tehnologije

RATOMIR KARLOVIĆ

SUPERRAČUNALA

Završni rad

JMBAG: 0303046143, redoviti student
Studijski smjer: Informatika

Predmet: Osnove IKT
Znanstveno područje: Društvene znanosti
Znanstveno polje: Informacijske i komunikacijske znanosti
Znanstvena grana: Informacijski sustavi i informatologija
Mentor: prof.dr.sc. Vanja Bevanda

Pula, rujan, 2016. godine



IZJAVA O AKADEMSKOJ ČESTITOSTI

Ja, dolje potpisani Ratomir Karlović, kandidat za prvostupnika informatike ovime izjavljujem da je ovaj Završni rad rezultat isključivo mogega vlastitog rada, da se temelji na mojim istraživanjima te da se oslanja na objavljenu literaturu kao što to pokazuju korištene bilješke i bibliografija. Izjavljujem da niti jedan dio Završnog rada nije napisan na nedozvoljen način, odnosno da je prepisan iz kojega necitiranog rada, te da ikoji dio rada krši bilo čija autorska prava. Izjavljujem, također, da nijedan dio rada nije iskorišten za koji drugi rad pri bilo kojoj drugoj visokoškolskoj, znanstvenoj ili radnoj ustanovi.

Student

Karlović

U Puli, 20.09., 2016. godine



IZJAVA
o korištenju autorskog djela

Ja, Ratomir Karlović dajem odobrenje Sveučilištu Jurja Dobrile u Puli, kao nositelju prava iskorištavanja, da moj završni rad pod nazivom Superračunala koristi na način da gore navedeno autorsko djelo, kao cjeloviti tekst trajno objavi u javnoj internetskoj bazi Sveučilišne knjižnice Sveučilišta Jurja Dobrile u Puli te kopira u javnu internetsku bazu završnih radova Nacionalne i sveučilišne knjižnice (stavljanje na raspolaganje javnosti), sve u skladu s Zakonom o autorskom pravu i drugim srodnim pravima i dobrom akademskom praksom, a radi promicanja otvorenoga, slobodnoga pristupa znanstvenim informacijama.

Za korištenje autorskog djela na gore navedeni način ne potražujem naknadu.

U Puli, 20.09.2016 (datum)

Potpis

Karlović

Sadržaj

1. Uvod	1
2. Od prošlosti do sadašnjosti	2
3. Kako radi superračunalo	7
3.1 Korištenje električne energije i problem hlađenja	7
4. Superračunalni algoritmi	10
5. Superračunalni softver	11
5.1 Operacijski sustav i upravljački softver	11
5.2 Programski jezici i alati	14
5.3 Biblioteke	15
5.4 Aplikacijski softver	15
5.5 Pouzdanost i toleriranje pogreške	16
6. Test performansi	18
6.1 Linkpack test	18
6.2 Praćenje performansi	23
7. Primjena superračunala	24
7.1 Turbulencija	24
7.2 Astronomija	25
7.3 Nuklearno oružje	25
7.4 Obrana i prikupljane informacija	26
7.5 Klima	27
7.6 Transport	27
8. Budućnost superračunala	28
9. Zaključak	30
Literatura	31
Popis slika	34
Popis tablica	34
Popis grafikona	34
Sažetak	35
Summary	36

1. Uvod

U ovom radu govorit će se o superračunalima koja su općeprihvaćena u mnogim industrijskim granama, a naročito u znanosti i vojnim svrhama. Superračunala nisu više dio znanstvene fantastike da bi se o njima samo čitalo ili gledali filmovi. Postala su nezamjenjivi dio mnogih znanstvenih područja kao što je astronomija, astrofizika, aerodinamika, meteorologija i mnogih ostalih. Rad se sastoji od sedam cjelina te uvoda i zaključka. U prvom dijelu rada govorit će se o prošlosti superračunala, njihovim počecima, računalima koja su prethodila i utjecala na stvaranje superračunala. U tom dijelu će se govoriti o čovjeku koji je napravio prvo superračunalo i definirao područje superračunala. Sljedeći dio kratko opisuje kako superračunalo rade te koji se hardverski problemi pojavljuju na superračunalima. Nakon toga dolaze algoritmi i softverski dio superračunala. Iako su superračunala izuzetno jaka, ipak zbog svog malog udjela na tržištu njihova podrška nije najbolja. Tako većinom superračunala koja imaju ozbiljnu primjenu će najvjerojatnije veliki dio korištenog softvera biti posebno izrađen upravo za to superračunalo. U sljedećoj cjelini prikazan je jedan od testova performansi za superračunala. Također je napravljen test na dva osobna računala kako bi se mogli vidjeti rezultati i dobiti osjećaj koliko je zapravo superračunalo superiornije nad običnim računalom. Nakon toga govorit će se o mogućoj budućnosti superračunalima koja se očekuje da će svoj put naći u optičkim ili kvantnim računalima. Na samom kraju u zaključku će biti izneseni zaključci koji su nastali nakon pisanja ovog rada.

2. Od prošlosti do sadašnjosti

Prije nego što se počne govoriti o prošlosti superračunala treba prvo definirati što je to superračunalo. Superračunala su najveća, najskuplja i najbrža računala koja je moguće nabaviti na tržištu. Ta računala mogu obavljati stotine milijuna operacija u samo jednoj sekundi. Superračunala imaju važnu ulogu u računarstvu te se koriste za široku spektar zadataka koji su zahtjevni za računanje. Superračunala mogu biti podijeljena u tri skupine po načinu na koje koriste svoje komponente koje mogu biti specijalizirane za zahtjevno računanje namijenjeno za znanstvene svrhe ili pak mogu biti namijenjene za rad sa zahtjevnim aplikacijama koje traže ekstremno jaka računala. Prva skupina superračunala koristi off-the-shelf procesore. Takva superračunala se često spominju kao "clusters" zbog toga što su sačinjeno od više servera ili radnih stanica. Zbog toga što njihovi procesori nisu specijalno napravljeni kao što je to slučaj za superračunala koja su namijenjena za znanstvene svrhe, ovakva superračunala se koriste za rad sa zahtjevnim aplikacijama. Iako su takva superračunala po performansama slabija od znanstvenih superračunala, ona nisu manje važna jer često rade sa softverom koji je često vezan uz izrazito važne stvari kao što je to na primjer nacionalna sigurnost. Druga skupina superračunala su specijalizirana superračunala za znanstvene svrhe. To su specijalna superračunala koja su posebno napravljena za složena znanstvena računanja. Koriste posebno izgrađene procesore koji se proizvode u malom broju pa je samim time cijena ovakvih superračunala veća od prve skupine. Treća skupina superračunala su hibridna superračunala.¹ Kao što to samo ime govori, to su superračunala koja kombiniraju prednosti prve dvije skupine. Koriste procesore iz prve skupine i tako dobivaju dobru ravnotežu cijene i performansi s posebno izgrađenim vezama iz druge skupine kako bi ostvarili veću brzinu od prve skupine. Superračunalo Bura koje se nalazi na Sveučilištu u Rijeci također je hibridne arhitekture. Koliko je snažno superračunalo to jest njegova procesorska snaga mjeri se pomoću mjerne jedinice koja se naziva FLOPS(Floating-point operations per second). Ona označava matematičku operaciju (jednu) sa pomičnim zarezom u

¹ Graham, S. L., M. Snir, i C. A. Patterson., *Getting Up To Speed*, Washington, DC: National Academies Press., 2005., 111,112 str.

sekundi.² U sljedećoj tablici je moguće vidjeti kratak pregled prošlosti računala i superračunala. Može se vidjeti kako se otprilike svakih deset godina jačina superračunala mijenjala za jednu mjernu jedinicu prema gore.

Tablica 1. - Kratki povijesni pregled jačine računala i superračunala

Jedinica	FLOPS	Skraćeni oblik	Primjer	Vremensko razdoblje
Sto FLOPS	100	10^2 FLOPS	Eniac	~1940te
KFLOPS(kiloflops)	1 000	10^3 FLOPS	IBM 704	~1950te
MFLOPS(megaflops)	1 000 000	10^6 FLOPS	CDC 6600	~1960te
GFLOPS(gigaflops)	1 000 000 000	10^9 FLOPS	Cray-2	~1980te
TFLOPS(teraflops)	1 000 000 000 000	10^{12} FLOPS	ASCI RED	~1990te
PFLOPS (petaflops)	1 000 000 000 000 000	10^{15} FLOPS	Sunway TaihuLight	~2010te

Sva ta brzina i snaga koju superračunala imaju su prijeko potrebne zbog aplikacija kojima su namijenjene. Zbog toga što aplikacije postaju sve složenije i zahtjevnije, superračunala se moraju isto tako brzo razvijati kako bi mogle pokrenuti te aplikacije.³ Ovo su samo neke od aplikacije koje zahtijevaju ekstremno puno računalne snage su:

- modeliranje financijskih tržišta,
- molekularno modeliranje,
- nanoelektronika,
- astrofizika,
- otkrivanje lijekova,
- prognoziranje vremena i klimatskih promjena,
- kvantna kemija,
- bioinformatika,
- aerodinamična simulacija aviona i svemirskih brodova,
- simulacija u fizici (simulacija nuklearne fuzije),
- kriptoanaliza,

Ta silna procesorska snaga je potrebno zbog toga što glavni faktor u radu s takvim aplikacijama je potreba za brzinom. Zbog toga što će te aplikacije najvjerojatnije koristiti velik broj podataka gdje će se mnoge varijable često mijenjati, za sami izračun

² "What Is FLOPS (Floating-Point Operations Per Second)?, *Whatis.Com.*, 2016
<http://whatis.techtarget.com/definition/FLOPS-floating-point-operations-per-second.>, (pristupljeno 27.08.2016.)

³Loo, A. W. S., *Peer-To-Peer Computing*, London, Springer, 2007., 18 str.

rezultata bit će potrebno puno vremena. Na primjer ako bi se tražili rezultati vremenske prognoze za narednih tjedan dana rezultati bi trebali biti poznati prije nego što će početi idući tjedan, ali to neće biti moguće ako se ta složena aplikacija izvršava na normalnom osobnom računalu jer ono neće imati dovoljno snage da dobije rezultat u zadanom vremenskom roku te je to jedan od razloga zašto postoji potreba za snažnijim računalima to jest superračunalima. O primjeni superračunala više će se govoriti kasnije, a sada malo više o povijesti superračunala.

Prvi počeci superračunala su napravljeni u IBMu 1961. godine s računalom IBM 7030 koje je također poznato pod nazivom Stretch. Ono je nastalo nakon što je IBM izgubio natječaj od konkurencije željeli su pod svaku cijenu sklopiti ugovor s Los Alamos National Laboratory. To im je uspjelo tako što su obećali da će napraviti računalu brže najmanje 100 puta od IBM 704 računala. Ugovor je sklopljen krajem 1956. godine ali IBM je nakon godinu dana shvatio da neće moći održati obećanje za brzinu računala pa je tako procijenjeno da će Stretch biti 60 do 100 puta jači od IBM 704. Ipak na IBMovu veliku sramotu, 1961. godine nakon urađenog testa, prava snaga Stretcha je bila otprilike 30 puta jača od IBM 704. Na sljedećoj slici je moguće vidjeti konzolu koju je Stretch imao, koja se danas nalazi u pariškom muzeju.⁴

Slika 1.- Stretchova konzola za održavanje



Kada se govori o brzini treba spomenuti računalu Atlas. Atlas je bilo računalu koje se nalazilo na sveučilištu Manchester. Atlas je mogao izvršiti oko milijun zadataka po sekundi. Prvi Atlas je službeno bio predstavljen 7. prosinca 1962. godine. Tada je Atlas

⁴ "IBM Stretch (Aka IBM 7030 Data Processing System)"., *Brouhaha.Com.*, 2016, [http://www.brouhaha.com/~eric/retrocomputing/ibm/stretch/.](http://www.brouhaha.com/~eric/retrocomputing/ibm/stretch/), (pristupljeno 27.08.2016.)

bio uvjerljivo najjače računalo na svijetu i smatralo se da je jako kao četiri IBM 7094 računala koja su bila napravljena za znanstvene svrhe.⁵ Međutim niti jedno od tih računala se ne smatra superračunalima. Prvo superračunalo je napravio Seymour Cray. Bez ikakve sumnje se može reći da je on jedna od najutjecajnijih osoba za superračunala. On je postavljao standarde za superračunalo jedno desetljeće, njegovi dizajni superračunala su redovno pobjeđivali konkurenciju. Dvije godine nakon Atlasa predstavljen je novi model CDC 6600 koji je dizajnirao Seymour Cray. Kod tog modela su zamijenjeni tranzistori od germanija (Slika 2.) sa tranzistorima od silikona (Slika 3.).⁶

Slika 2. - Tranzistor od germanija



Slika 3. - Tranzistori od silikona

To je omogućilo korištenje većih brzina, ali također u tom modelu je predstavljeno korištenje hladnjaka što je spriječilo problem pregrijavanja. Zbog ove dvije inovacije 6600 je postalo najbrže računalo na svijetu. Upravo zbog toga što je 6600 skoro bio deseterostruko brži od svih tadašnjih računala dobio je naziv superračunala i samim time definirao tržište superračunala. Oko stotinjak superračunala je prodano u to doba za pojedinačnu cijenu od 8 milijuna dolara. Seymour Cray je 1972. godine napustio CDC (Control Data Corporation) tvrtku u kojoj je do tada radio i osnovao Cray Research. Nakon četiri godine Cray predstavlja 80Mhz superračunalo Cray 1. Ono je postalo jedno od najuspješnijih superračunala u povijesti. Cray 2 je izbačen na tržište

⁵ "History Of Computers And Computing, Birth Of The Modern Computer, Electronic Computer, Atlas Computer", 2016., *History-Computer.Com*. <http://history-computer.com/ModernComputer/Electronic/Atlas.html>. , (pristupljeno 27.08.2016.)

⁶"Control Data Corporation, CDC-6600 & 7600", 2016., *Ed-Thelen.Org*. <http://ed-thelen.org/comp-hist/vs-cdc-6600.html>. , (pristupljeno 27.08.2016.)

1985. koji je imao tekuće hlađenje za 8 procesora.⁷ To superračunalo je u to vrijeme bilo drugo najbrže jer tada titulu najbržeg je imalo M-13 superračunalo koje se nalazilo u Moskvi.⁸ U 80tim godinama superračunala koja su se koristila imala su samo nekoliko procesora, ali već u 90tim godinama pojavljuju se strojevi s tisućama procesora u SADu i Japanu te su tako postavili novi rekorde u računanju. Numerical Wind Tunnel je koristio 166 procesora i imalo je brzinu od 1.7 GLOPS po procesoru. Hitachi SR2201 je dvije godine kasnije napravio veliki iskorak ostvarujući brzinu od 600 FLOPS koristeći 2048 procesora. Od lipnja 2016. godine najbrže superračunalo u svijetu je postalo Sunway TaihuLight koji je na Linpack testu postigao brzinu od 93.015 PFLOPS i tako prestigao dotadašnje najbrže superračunalo Tianhe-2 za približno 59 PFLOPS. Trenutna svjetska sila za superračunala je Kina koja ima 167 Kako je vrijeme prolazilo od izlaska prvog superračunala tako se broj procesora sve više povećavao i snaga superračunala probijala granice koje su svaki put bile sve više i više.

⁷ "Seymour Cray, The Father Of Supercomputing | Cray", *Cray.Com*, 2016., <http://www.cray.com/company/history/seymour-cray>. , (pristupljeno 27.08.2016.)

⁸ "Mikhail A.Kartsev, Development Of Computer Science And Technologies In Ukraine". 2016. *Icfcst.Kiev.Ua*. <http://www.icfcst.kiev.ua/MUSEUM/Kartsev.html>., (pristupljeno 27.08.2016.)

3. Kako radi superračunalo

Arhitektura superračunala se drastično mijenjala od 60tih godina kada su predstavljena prva superračunala. Početni modeli koje je dizajnirao Seymour Cray su se bazirali na kompaktnom dizajnu i paralelni način rada se još uvijek nije koristio u svom punom potencijalu. Kako je vrijeme prolazilo tako se javljala potreba za naprednijim superračunalima pa su se zbog toga počeli koristiti masovni paralelni sustavi. Nakon što su Japan i SAD napravili korak ispred s korištenjem tisućama procesora, pri kraju 20tog stoljeća na scenu stupaju masovna paralelna superračunala koja su imala deset tisuća procesora koja su postala norma.⁹ Sadašnja superračunala koriste i preko 100 000 procesora. Superračunalo je sačinjeno od procesora, memorije, I/O sustava i vezama između komponenti. Procesori dohvaćaju i izvršavaju programsku instrukciju, to podrazumijeva izvršavanje matematičkog i logičkog računanju, pristupanje memoriji i kontroliranje izvršavanje toka programa. Moderno superračunalo se u prosjeku sastoji od 100 do nekoliko 100 000 čvorova. Čvor označava procesor ili skupinu procesora koja ima memorijski blok.¹⁰ Čvorovi su međusobno povezani kako bi im se pružila komunikacija i tako omogućila kolaboraciju na rješavanju jednog velikog problema.

3.1 Korištenje električne energije i problem hlađenja

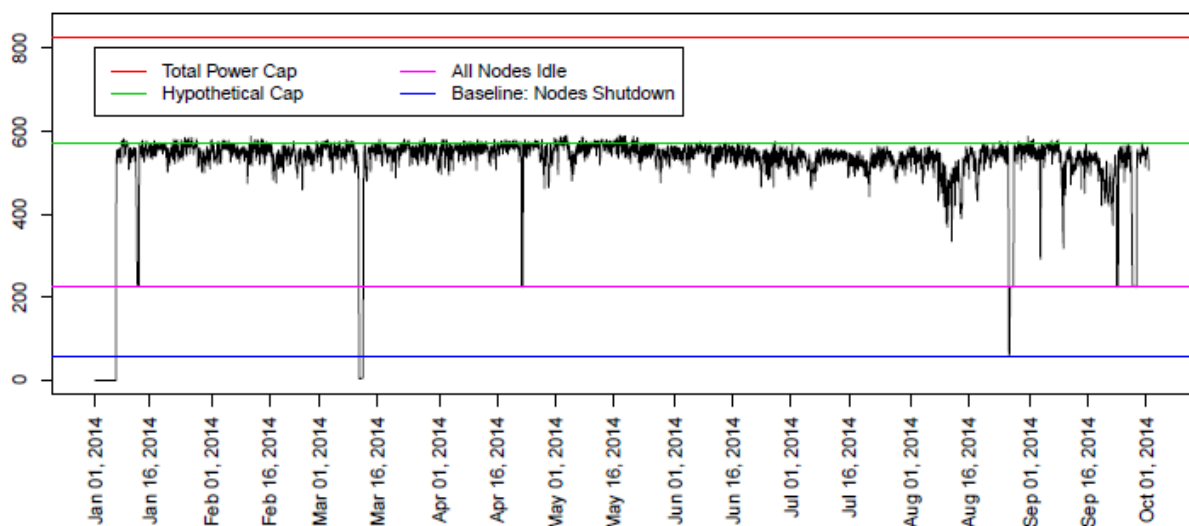
Jedno tipično superračunalo koristi velike količine električne energije, koja se većinom pretvara u toplinu zbog čega je potrebno dobro hlađenje. Na primjer superračunalo Sunway TaihuLight koristi 15 371 kW/h. Cijena jednog kW/h u Hrvatskoj je 0,5750 kn dakle jedan sat korištenja najbržeg superračunala na svijetu bi koštalo 8 840kn što bi na godišnjoj razini iznosilo 77 438 400kn. Zbog toga nije bitno samo imati resurse za kupovinu superračunalo nego je još bitnije imati dovoljno resursa za održavanje superračunala. Također postoji problem kod dizajniranja infrastrukture napajanja za superračunalo koji je bio uobičajen do 2015. godine koji se kod budućeg dizajniranja infrastrukture superračunala ne bi trebao događati. Taj problem je u tome što

⁹ Matlis Jan, "A Brief History Of Supercomputers". *Computerworld.*, 2005, http://www.computerworld.com.au/article/132504/brief_history_supercomputers/,(pristupljeno 27.08.2016.)

¹⁰ Kiš, M., *Informatički Rječnik Za Školu I Dom*, Rijeka, Andromeda d.o.o., 2006., 245 str.

maksimalni kapacitet električne energije koji infrastruktura pruža superračunalu je daleko veći od teoretske mogućnosti koliko to superračunalo može koristiti.¹¹ Na sljedećoj slici može se vidjeti grafikon potrošnje električne energije za superračunalo Luna koje se nalazi u LANL (Los Alamos National Laboratory). Na grafikonu je crvenom linijom pokazano koliki je maksimum koji infrastruktura dopušta, zelena linija pokazuje koliko bi sustav trebao trošiti u teoriji, roza linija pokazuje stanje kada je superračunalo u stanju mirovanja te plava linija kada superračunalo ne radi. Treba napomenuti kako bez obzira ako je superračunalo ugašeno, sustav hlađenja može i dalje biti aktivan pa se zbog toga vidi potrošnja energije kada je superračunalo ugašeno jer je hlađenje i dalje aktivno.

Grafikon 1 - Prikaz potrošnje energije superračunalala Luna



Na grafikonu 1. se jasno vidi da je superračunalo nekada premašilo predviđenu potrošnju energije, ali također se može vidjeti da ni kada je koristilo maksimalno slobodne energije, nikada nije ni blizu kapaciteta kojeg infrastruktura pruža. Razlog zbog kojeg postoji tolika velika razlika između maksimalnog kapaciteta i maksimalne potrošnje je u tome što se ne može predvidjeti koliko će superračunalo koristiti energije pri velikom opterećenju prije nego što se to stvarno bude radilo na njemu. U budućnosti superračunalala će imati mogućnost ograničavanja potrošnje energije tako da će pri slobodnoj energiji koja im je omogućena raditi maksimalnom brzinom kojom je to moguće.

¹¹ Storlie, Curtis, Joe Sexton, Scott Pakin, Michael Lang, Brian Reich i William Rust. "Modeling And Predicting Power Consumption Of High Performance Computing Jobs". *Arxiv.Org.*, 2014., [https://arxiv.org/abs/1412.5247.](https://arxiv.org/abs/1412.5247), (pristupljeno 27.08.2016.)

Toplina koja nastaje tokom rada može imati različite posljedice na primjer smanjenje životnog vijeka komponenti superračunala, a ovisno o komponenti zamjena može biti vrlo skupa pa je zbog toga izuzetno važno imati dobro hlađenje. Do sada su se koristili različiti pristupi kao što je korištenje fluorinert tekućine (Cray 2 je prvo superračunalo koje je koristilo ovakav način hlađenja)¹², hibridnog načina gdje se koriste zrak i voda, vodeno hlađenje i na kraju obično hlađenje zrakom pomoću klima uređaja. Problem sa zagrijavanjem superračunala se ne rješava samo s korištenjem hlađenja nego već s biranjem samih komponenti. Tako je IBM kod izrade Blue Gene superračunala namjerno odabrao procesore kojima je potrebno manje električne energije pri radu kako bi se što bolje riješili zagrijavanja te je zbog toga proglašen krajem 2010. godine za ekološki najprihvatljivije superračunalo na svijetu.

Posljednjih 40 godina došlo je do dramatičnog povećanje brzine računala, ali tome će doći kraj sa sadašnjim tehnologijama. Jedan od faktora koji stvaraju to ograničenje je brzina kojom informacijama može putovati i udaljenost koju ona mora proći unutar računala. Prvi faktor je limitiran brzinom svjetlosti dok drugi faktor je limitiran sa samom tehnologijom koja se koristi. Do sada se to rješavalo tako da su komponente postajale sve manje i manje te se udaljenost između njih smanjivala, ali uskoro ovakav način rješavanja problema neće biti moguć jer se veličina komponenti bliži teoretskom limitu. Bez obzira ako se teoretski limit to jest distanca uspije smanjiti to će prouzrokovati novi problem. Signali komponenti će se miješati sa signalima drugih komponenti. U svakom pokušaju da se proizvede brže računalo, on će automatski biti sabotiran ostalim tehničkim problemima.¹³

¹²Anthony, S. (2016). - *The history of supercomputers* | *ExtremeTech*. [online] ExtremeTech. Available at: <http://www.extremetech.com/extreme/125271-the-history-of-supercomputers/4> [Accessed 14 Sep. 2016].

¹³ Loo, op.cit, str. 28

4. Superračunalni algoritmi

Algoritam je niz osnovnih operacija koji se moraju izvršiti kako bi se mogao riješiti zadatak korisnika. Da bi algoritam bio koristan, on se mora izvršiti tako da riješi problem korisnika sa što većom preciznošću bez da koristi previše vremena i memorije. Koliko će koji algoritam točno vremena trebati, koliko će koristiti memorije i koliko će vremena potrošiti ovisi o samoj aplikaciji. Poboljšanja u samim algoritmima može povećati učinkovitost računala isto ili više nego poboljšanja u hardveru ili softveru. Na primjer algoritam za rješavanje sveprisutnog linearnog sustava iz Poissonove jednačbe za normalnu trodimenzionalnu mrežu s n točaka na mreži je svoje vrijeme poboljšalo s potrebnih $O(n^{7/3})$ na $O(n)$ aritmetičkih operacija. Iako je puno toga poznato o algoritmima za rješavanje znanstvenih problema koristeći superračunala to još uvijek nije dovoljno da zadovolji sve potrebe znanstvenika¹⁴. Za neka polja znanosti algoritmi koji se sada koriste ne mogu riješiti najzahtjevnije probleme bez obzira ako se oni koriste na najnaprednijim superračunalima (simulacija korištenja nuklearnog oružja). Također za određena polja treba razviti algoritme koji će zadovoljiti osnovne potrebe (bioinformatika). Problemi koji sprječavaju razvoj algoritama ovisi o području za koji su oni namijenjeni. Na primjer u mnogim granama kao što je to biologija koja prethodno malo kvantitativnih podataka za analizu danas ima velike količine takvih podataka obično različitog tipa, značenja i sigurnosti. Ti podaci se mogu prikazati različitim načinima (tekstom, grafovima, relacijskom bazom, trodimenzionalnom slikom itd.). Zbog toga dobivanje znanstvenih podataka iz takvih podataka je dosta zahtjevan proces pa zbog toga algoritmi koji se ovdje koristiti morat će kombinirati nekoliko različitih načina obrade podataka, a samim time takav algoritam će biti složeno napraviti i unaprijediti zbog svoje složenosti.

¹⁴ Graham, S. L., M. Snir, i C. A. Patterson., op. cit., str. 125-134

5. Superračunalni softver

Softver koji je namijenjen superračunalima ima neka slična obilježja softveru koji je namijenjen svakodnevnim računalima. Na primjer, prenosivost je ključna jer mnogi programi traju duže od originalnih platformi za koje su bili namijenjeni. U području superračunala softver uobičajeno ima rok trajanja od pet godina, iako se mnogi kodovi aplikacija stari deset godina koriste još uvijek u svakodnevnom radu. Uspješno izvršavanje zadataka je važno u svim područjima, naročito za superračunala zbog njihove velike cijene i zahtjevnih aplikacija. Osiguravanje točnih rezultata, zajednički problem svih računala, je naročito teško osigurati kod većih i kompleksnijih sustava kao kod superračunala. Također postoje karakteristike specifične za superračunalni softver. Od tog softvera se očekuje odlična skalabilnost, kako bi superračunalo iskoristilo prednosti paralelnog hardvera softver mora imati dovoljno istovremenih operacija kako bi iskoristio sav hardver.¹⁵ Ako superračunalo ima 1000 procesora, ono mora imati nekoliko tisuća operacija spremno za izvođenje u bilo koje vrijeme ili u slučaju da su procesori specijalno napravljeni nekoliko desetaka tisuća operacija.

5.1. Operacijski sustav i upravljački softver

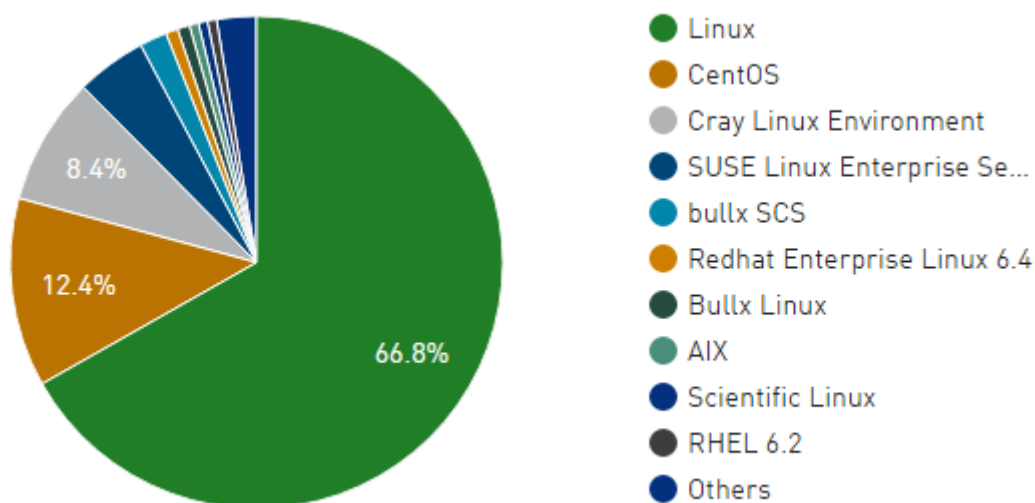
Operacijski sustav upravlja osnovnim resursima sustava kao što je to memorija, mreža, procesori, ulazno izlaznim uređajima itd. Oni pružaju upravljanje memorijom i procesima kako bi omogućili da više programa koji se izvršavaju u isto vrijeme mogu što bolje izvršiti i smanjili ovisnost o hardveru. Ostale ključne stavke koje operacijski sustav pruža je sigurnost i zaštitu, mogućnost prijavljivanja korisnika i toleriranje pogrešaka. Usko povezanim s tim ulogama operacijskog sustava je upravljački softver koji pruža sučelje za korisnika. Ključne stavke tog softvera je pružanje izrade korisničkih računa, praćenje sustava i upravljanje konfiguracijom.¹⁶

Kada je riječ o operacijskim sustavima za superračunala, gotovo sva računala koriste neku varijantu Linux sustava (grafikon 2.)

¹⁵ ibidem, str. 134

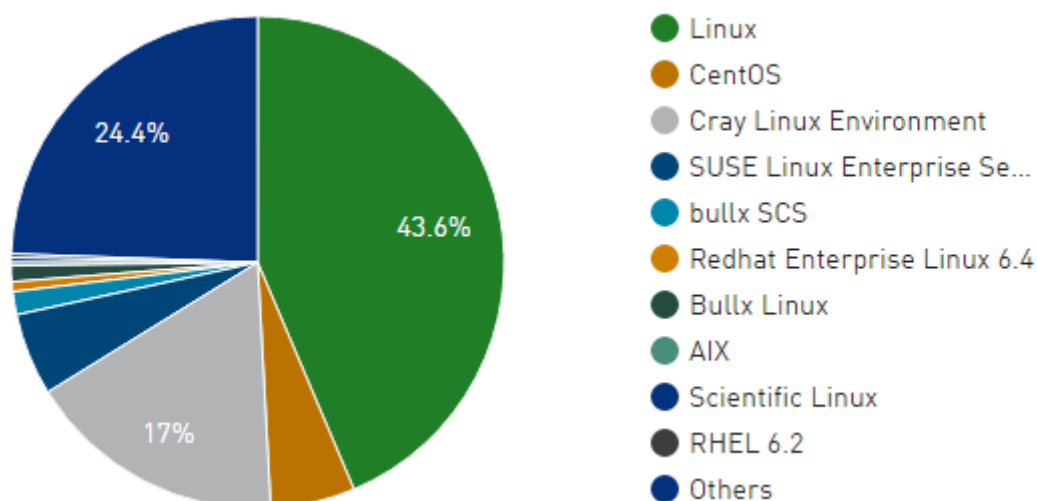
¹⁶ ibidem, str.135-136

Grafikon 2 - Prikaz korištenosti operacijskog sustava u 500 najboljih superračunala



Iako je Linux sustav koji se najviše koristi na superračunalima ipak naprednija superračunala imaju posebno napravljen sustav za korištenje kako bi se njihova snaga iskoristila što bolje. Tako na grafikonu 3. se može vidjeti da je Linux sustav koji raspolaže s najviše snage, ali sada su posebno napravljeni operacijski sustavi na drugom mjestu s 24.4% jer iako se koriste manje od Linuxa oni su ipak pogodniji za jača superračunala pa samim time imaju na raspolaganju više snage nego drugi sustavi.

Grafikon 3 - Prikaz operacijskih sustava po računalnoj snazi kojom raspolažu



Na sljedećoj tablici 2. je moguće vidjeti popis svih operacijskih sustava koji se koriste na 500 najjačih superračunala na svijetu te njihov broj (Count), ukupni postotak zastupljenosti (System Share), brzina rada superračunala (Rmax), najveća ostvarena brzina (Rpeak) i broj jezgri (Cores).

Tablica 2. - Prikaz svih korištenih OS

Operating System	Count	System Share (%)	Rmax (GFlops)	Rpeak (GFlops)	Cores
Linux	334	66.8	247,434,891	385,940,626	18,527,451
CentOS	62	12.4	31,454,947	62,160,954	2,223,160
Cray Linux Environment	42	8.4	96,620,820	130,337,966	3,637,996
SUSE Linux Enterprise Server 11	23	4.6	30,651,690	42,727,804	1,203,092
bullx SCS	9	1.8	8,579,333	10,641,317	308,072
Redhat Enterprise Linux 6.4	4	0.8	3,668,262	5,040,438	132,410
Bullx Linux	4	0.8	5,912,187	7,642,599	218,112
AIX	3	0.6	1,201,135	1,405,914	49,504
Scientific Linux	3	0.6	1,714,761	2,031,552	73,384
RHEL 6.2	3	0.6	1,453,100	1,796,454	86,368
bullx SUpErCOmputer Suite A.E.2.1	3	0.6	2,942,070	3,583,180	165,888
Redhat Enterprise Linux 6.5	3	0.6	3,393,110	4,528,051	122,416
Redhat Enterprise Linux 6	2	0.4	2,433,470	3,032,783	295,656
Kylin Linux	2	0.4	35,934,090	57,976,934	3,294,720
Redhat Enterprise Linux 7.2	1	0.2	334,800	534,097	11,184
SUSE Linux Enterprise Server 12 SP1	1	0.2	609,779	669,760	16,100
Sunway RaiseOS 2.0.5	1	0.2	93,014,594	125,435,904	10,649,600

Posebno napravljeni operacijski sustavi se koriste zbog toga što će oni imati puno bolju kompatibilnost sa superračunalom nego komercijalni operacijski sustavi kao što su to Linux i Windows. Razlog tome je jednostavan, oni nisu prilagođeni da rade s tako velikim brojem procesora koji se nalaze u superračunalu. Npr. Portable Batch System (OpenPBS) je operacijski sustav koji podržava rad s maksimalno 32 procesora, što naravno nije ni približno dovoljno za superračunala. Zbog ovog jednostavnog razloga je jasno zašto su posebno napravljeni operacijski sustavi korišteni na najjačim superračunalima. U tablici 2. može se vidjeti kako operacijski sustav Sunway Raise OS radi na jednom superračunalu, ali snaga tog superračunala je jednaka otprilike 37,5% snage Linux operacijskog sustava koji se nalazi na 334 računala. Velika

superračunala obično imaju više operacijskih sustava, gdje je svaki operacijski sustav zadužen za jedan čvor.¹⁷

5.2. Programski jezici i alati

Programski jezici i alati koji se koriste na superračunalima ima puno, a njihova primjena ovisi o onome što se treba programirati. Mnoge aplikacije su napisane u više od jednog programskog jezika. Može se reći da je svaki programski jezik zadužen za jedan dio superračunala. Programski jezici kao C i Fortran se uobičajeno koriste za programiranje individualnih procesorskih elemenata (npr. čvorova koji se sastoje od jednog procesora). Čvorovi koji se sastoje od više procesora koji imaju zajedničku memoriju obično su programirani s proširenjima za ove jezika kao što je to OpenMP proširenje koje može koristiti C i Fortran. Skup čvorova (ili procesora) koji ne dijele memoriju se programiraju pomoću run-time sustavnih biblioteka. Također se u posljednje vrijeme razvijaju bolje integrirani paralelni programski jezici. High-Performance Fortran (HPF) i Co-Array Fortran su verzije Fortrana namijenjene paralelnom programiranju. C također ima svoju verziju programskog jezika pod nazivom UPC. U ovom slučaju Java isto ima svog predstavnika, a to je programski jezik Titanium. Ovi jezici također podržavaju model gdje se memorija dijeli. Takav model omogućava da sve niti koji se koriste imaju pristup zajedničkim podacima koji se nalaze u zajedničkim distribuiranim poljima. Programski jezici kao što su Python i Perl se često koriste za povezivanje komponenti koje su programirane u gore navedenim programskim jezicima. Jako je poželjno da je softver koji je namijenjen superračunalima prenosiv (eng. Portability) kako bi sustav mogao s lakoćom nositi s evolucijom hardvera. Superračunalne aplikacije često nadžive hardver za koje su bile namijenjene jer tipična aplikacija se može koristiti 20 godina dok očekivani životni vijek za hardver je oko pet godina (2004. godine najstarije superračunalo je bilo staro 7 godina). Cilj je da softver zadrži svoje dobre performanse bez obzira gdje se on izvršava.¹⁸

¹⁷ ibidem, str. 137-138

¹⁸ ibidem, str. 138-141

5.3. Biblioteke

Od samih početaka softverske biblioteke su se razvijale kako bi se uobičajeno korištene komponente u što praktičnijem obliku mogle ponovno koristiti od strane mnogih programa. Tipičan primjer je matematička biblioteka koja je standardni primjer ponovnog korištenja softvera. Neke od ključnih matematičkih biblioteka koje superračunala koriste su LAPACK za linearnu algebru, templati kao C++ Standard Template Library, run-time podrška kao što je to MPI(Message Passing Interface) za protok poruka, vizualni paket Visualization Tool Kit(VTK). Biblioteke koje su najvažnije za superračunalo su one koje sadržavaju matematičke funkcije uključujući linearnu algebru (kao LAPACK), Fourierovu transformaciju (npr. FFTW) i osnovne funkcije. Zbog potreba suvremenog znanstvenog softvera, napredne strukture podataka (C++ Standard Template Library), upravljanje podataka (HDF) i vizualizaciju (VTK) su potrebni kako bi se aplikacija mogla razviti u potpunosti.¹⁹ Obje matematičke i računalne biblioteke su potrebne za svakodnevni rad na superračunalu.

5.4. Aplikacijski softver

Aplikacijski softver pruža rješenje za specifični znanstveni i inženjerski problem. Takav softver je uvijek specijaliziran za područje problema ili za sami problem. Njegov opseg se mijenja od malog broja koda kojeg održava jedna osoba (npr. student koji istražuje za potrebne znanstvenog rada) do velikog koda kojeg će održavati jedna zajednica (npr. praćenje i prognoziranje vremena i klimatskih promjena) i komercijalnog koda (NASTRAN paket za projektiranje zgrada i mostova). Kodovi koji su napisani od strane neke zajednice imaju na stotinu tisuća linija koda, a oni komercijalni nekoliko milijuna linija koda napisanih tokom godina. Takvi kodovi se teško mogu prilagoditi novom hardveru ili novom programskom jeziku zbog svoje veličine, moguće gubljenje strukture zbog nagomilavanja koda i problema verifikacije velikih promjena. U slučaju važnih kodova kao što je to NASTRAN koji radi statičku, dinamički i termalnu analizu kako bi se utvrdilo da li struktura ima potrebnu snagu, čvrstoću i izdržljivost, platforma se mora prilagođavati aplikaciji, a ne obrnuto²⁰. Prevoditelji (eng. Compilers) moraju

¹⁹ ibidem, 142 str

²⁰ ibidem 143-145 str

podržavati zastarjele značajke programskog jezika i zastarjele arhitekture mogu nastaviti imati tržišni udio zbog potpore važnih paketa. Dok ubrzana evolucija superračunala i programskog okruženja zadovoljavaju važnije zahtjeve agencija i ubrzava znanstvena otkrića, ona također ubrzava zastarijevanje određenih važnih paketa koji ne mogu pratiti promjene i iskoristiti prednosti cijene/performance novih superračunala. Zbog toga što superračunala predstavljaju mali dio tržišta, komercijalni proizvođači softvera neće ulagati u razvijanje najnovijih aplikacija jer smatraju da neće ostvariti dovoljno veliki profit. Danas nije rijetka pojava da alati ne rješavaju problem koji se od njih očekuje, ne funkcioniraju kako su reklamirani i/ili ne iskorištavaju dostupni potencijal superračunala.

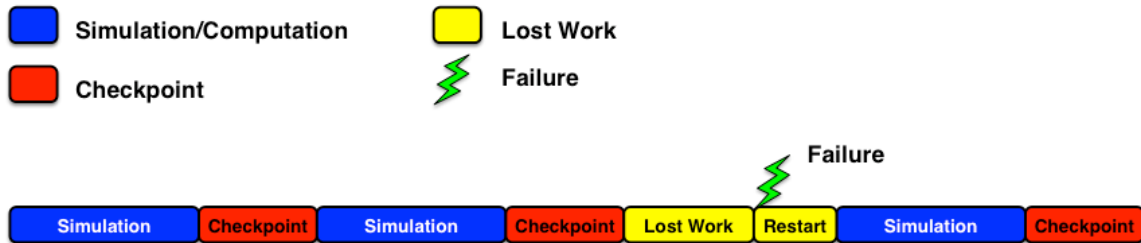
5.5. Pouzdanost i toleriranje pogreške

Kako se sustav povećava tako mogućnost da se dogodi nekakav kvar se povećava i vrijeme između dva kvara se smanjuje (MTBF-Mean Time Before Failures). Ovo vrijedi za hardverske kvarove, ali također i za one softverskog tipa. Hardverske pogreške na velikim superračunalima su relativno česte, pa tako 1000 čvorova u prosjeku ima dva nepovratna kvara po danu. To odgovara jednom kvaru u tri godine po čvoru, ako govorimo vremenu između dva kvara. Ovaj problem je riješen tako što se često rade kontrolne točke i u slučaju kvara, superračunalo se vraća u stanje u kojem se nalazilo u zadnjoj kontrolnoj točki. Trenutnim pojavljivanjem kvarova dio performansi se gubi zbog izrade i vraćanja na kontrolne točke, ali to je skroman dio tako da on nema veliki utjecaj na rad superračunala.²¹ Na slici 8. je na jednostavan način prikazano kako kontrolna točka radi. Plavom bojom je označen nekakav rad koje superračunalo obavlja, crvenom bojom kontrolne točke, a žutom bojom izgubljeni dio podataka. Zeleni grom predstavlja trenutak kada se kvar desio. Nakon svakog određenog dijela simulacije dolazi do izrade kontrolne točke. To ne mora biti nužno kada je problem riješen već ako je problem podijeljen u više manjih dijelova, nakon svakog odrađenog dijela može se napraviti kontrolna točka. Kada se kvar dogodio, sve što je superračunalo do tog momenta radilo može biti nepovratno izgubljeno. Nakon što se kvar dogodio, dolazi do resetiranja superračunala na zadnju napravljenu kontrolnu točku i nastavlja se rad od te kontrolne točke. Treba napomenuti kako je na slici vrijeme

²¹ ibidem, 142 str

koje je trebalo za resetiranje superračunala također smatra izgubljenim vremenom jer u tom momentu superračunalo nije moglo rješavati

Slika 4 - Prikaz rada kontrolne točke



Superračunala koja imaju 100 000 procesora imaju daleko više kvarova i troše puno više vremena na izradu kontrolnih točaka i resetiranja superračunala. Takva velika superračunala nemaju samo takve probleme, već će zbog toga što će većina kvarova biti povezana za pregrijavanjem, kvarovi će se još više povećati jer će procesori koristiti više snage. Zbog toga je potrebno razviti bolje procesore s naprednijim načinom hlađenja ili napraviti bolju podršku u slučaju kvarova. Kod puno superračunala dolazi do kvarova zbog sistemskog softvera. Takve kvarove je moguće riješiti s izradom posebnih operacijskih sustava koji su namijenjeni za to superračunalo, jer je teško očekivati da će komercijalni operacijski sustavi imati jednom ili dvaput dnevno. Alternativa posebno napravljenom operacijskom sustavu je izrada softvera koji će rješenje za kvarove biti fokusirano lokalno, a ne globalno. Kako bi ovo bilo moguće potrebno je veće ulaganje truda programera u takva rješenja.

6. Test performansi

Testovi performansi se koriste za mjerenje performansi na određenom sustavu, to jest mjeri se vrijeme koje je potrebno za rješavanje niza problema neke aplikacije. Testovi koji se koriste imaju svoja ograničenja. Razina točnosti koji oni pokazuje je samo reprezentativna jer je dobro poznato da je moguće podešavanje performansi kako bi ostvarili bolji rezultat na testovima. High Productivity Computing System (HPCS) je program kojeg sponzorira DARPA (Ministarstvo obrane SADa odgovorna za razvoj novih tehnologija za vojsku) za cilj ima poboljšati trenutne testove performansi u svakodnevnom korištenju. Industrijski testovi performansi uključuju testove kao što su Linpack, SPEC, NAS i Stream i drugi. Testovi mogu mjeriti samo određene aspekte performansi sistema i ne može nužno predvidjeti performanse kod zahtjevnih aplikacija. Na primjer, Lapack test koristi mjeru R_{\max} koja ne može precizno predvidjeti performanse kod nepravilnih algoritama. Testovi performansi su također ne mogu predvidjeti performanse na drugim sustavima od onog na kojem je test obavljen. U najboljem slučaju rezultati se mogu predvidjeti ako se sustav jako malo razlikuje ili je možda riječ o većem sustavu od testiranog, ali ni u kojem slučaju se ne mogu predvidjeti rezultati ako je riječ o različitom sustavu ili nekom modernijem sustavu. Zbog toga se pokušava razviti novi test pod nazivom HPC Challenge koji bi trebao napraviti pomak u rješavanju ovih ograničenja.²²

6.1. Linpack test

Linpack test je jedan od najpopularnijih testova za mjerenje performansi superračunala. Test je predstavio Jack Dongarra 1979. godine. Njegova svrha je tada bila da pomogne korisnicima procijeniti koliko će sustavu trebati vremena da riješi određeni problem. Tek 1991. godine test je modificiran i počinje se koristiti za testiranje superračunala. Iako je test jako uspješan i korišten, ipak postoje zamjerke na način koji testira performanse računala. Smatra se da test ne pokazuje pravu snagu računala zbog toga što testira samo dio operacija koje se izvode na računalima. To se posebno odnosi na znanstvena superračunala koja koriste puno kompleksnije operacije od onih kojih Linpack testira pa tako treba uzeti u obzir kako su rezultati testa relativno preveliki jer bi oni najvjerojatnije bili manji ako bi test stvarno testirao sve operacije koje računalo

²² ibidem, str. 162

može obavljati. Na sljedećim slikama su prikazani rezultati Linpack na dva osobna računala.

Konfiguracija računala na slici 5. i 6. je ista, osim što je procesor na slici 10. overclockiran na 3.989 GHz, dok je na slici 11. prikazan test na drugom računalu.

Konfiguracija prvog računala:

- Procesor: Intel Core i7 920 2.983 Ghz
- Memorija: Corsair 18 GB
- Matična ploča: Gigabyte GA-EX58-UD5
- Grafička kartica 1: nVidia GTX 960
- Diskovi: 500 GB +500 GB+250 GB + 250 GB SSD
- Napajanje: Corsair HX 650 W

Konfiguracija drugog računala:

- Procesor: Intel Core i5 2500k 3.369 Ghz
- Memorija: 2x8 GB G.Skill, 2x2GB Kingston
- Grafička kartina: nVidia GTX 960
- Diskovi: 1TB + 125GB
- Napajanje Corsair CX 600 W

Slika 5. - Prikaz rezultata Linpack testa na procesoru koji radi na 2.983 Ghz

Intel(R) Optimized LINPACK Benchmark data

Current date/time: Thu Sep 01 15:37:00 2016

CPU frequency: 2.983 GHz
 Number of CPUs: 1
 Number of cores: 4
 Number of threads: 4

Parameters are set to:

Number of tests: 12

Number of equations to solve (problem size) :	1000	2000	3000	4000	5000	10000	15000	20000	25000	30000	35000	40000
Leading dimension of array	: 1000	2000	3000	4000	5000	10000	15000	20000	25000	30000	35000	40000
Number of trials to run	: 4	4	4	4	4	2	2	2	2	1	1	1
Data alignment value (in Kbytes)	: 4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4

Maximum memory requested that can be used=12800804096, at the size=40000

===== Timing linear equation system solver =====

Size	LDA	Align.	Time(s)	GFlops	Residual	Residual(norm)	Check
1000	1000	4	0.079	8.4445	9.419757e-13	3.212379e-02	pass
1000	1000	4	0.035	19.1713	9.419757e-13	3.212379e-02	pass
1000	1000	4	0.034	19.7736	9.419757e-13	3.212379e-02	pass
1000	1000	4	0.048	13.8636	9.419757e-13	3.212379e-02	pass
2000	2000	4	0.212	25.1804	4.657913e-12	4.051814e-02	pass
2000	2000	4	0.227	23.5362	4.657913e-12	4.051814e-02	pass
2000	2000	4	0.191	27.9681	4.657913e-12	4.051814e-02	pass
2000	2000	4	0.191	27.9483	4.657913e-12	4.051814e-02	pass
3000	3000	4	0.532	33.8787	8.375411e-12	3.225170e-02	pass
3000	3000	4	0.674	26.7149	8.375411e-12	3.225170e-02	pass
3000	3000	4	0.575	31.3169	8.375411e-12	3.225170e-02	pass
3000	3000	4	0.600	30.0346	8.375411e-12	3.225170e-02	pass
4000	4000	4	1.333	32.0362	2.060180e-11	4.490357e-02	pass
4000	4000	4	1.277	33.4407	2.060180e-11	4.490357e-02	pass
4000	4000	4	1.532	27.8634	2.060180e-11	4.490357e-02	pass
4000	4000	4	1.315	32.4674	2.060180e-11	4.490357e-02	pass
5000	5000	4	2.521	33.0707	3.111936e-11	4.339344e-02	pass
5000	5000	4	2.399	34.7517	3.111936e-11	4.339344e-02	pass
5000	5000	4	2.435	34.2371	3.111936e-11	4.339344e-02	pass
5000	5000	4	2.424	34.4038	3.111936e-11	4.339344e-02	pass
10000	10000	4	16.273	40.9793	9.915883e-11	3.496441e-02	pass

Nakon 12 odrađenih testova vidljivo je računalo postiglo najveću brzinu pri zadnjem testu gdje je ostvarilo brzinu od 40.9793 GFlops. Za usporedbu, superračunalo CDC 6600 je ostvarivalo brzinu oko 3 GFlops. Iz toga se može vidjeti kako je tehnologija napravila velike iskorake zadnjih desetak godina. Na slici 10. je moguće vidjeti isti test obavljen na overclockiranom procesoru na 3.989 Ghz i vidi se da je računalo ostvarilo najbolji rezultat pri 12 izvođenju testa gdje je postiglo rezultat od 51.4605 GFlops.

Slika 6. - Prikaz rezultata testa na overclockiranom procesoru

```

Intel(R) Optimized LINPACK Benchmark data

Current date/time: Thu Sep 01 15:26:14 2016

CPU frequency: 3.989 GHz
Number of CPUs: 1
Number of cores: 4
Number of threads: 4

Parameters are set to:

Number of tests: 12

Number of equations to solve (problem size) : 1000 2000 3000 4000 5000 10000 15000 20000 25000 30000 35000 40000
Leading dimension of array : 1000 2000 3000 4000 5000 10000 15000 20000 25000 30000 35000 40000
Number of trials to run : 4 4 4 4 4 2 2 2 2 1 1 1
Data alignment value (in Kbytes) : 4 4 4 4 4 4 4 4 4 4 4 4
Maximum memory requested that can be used=12800804096, at the size=40000

===== Timing linear equation system solver =====

Size LDA Align. Time(s) GFlops Residual Residual(norm) Check
1000 1000 4 0.018 37.5276 9.419757e-13 3.212379e-02 pass
1000 1000 4 0.034 19.7673 9.419757e-13 3.212379e-02 pass
1000 1000 4 0.017 39.4064 9.419757e-13 3.212379e-02 pass
1000 1000 4 0.019 36.0744 9.419757e-13 3.212379e-02 pass
2000 2000 4 0.122 43.9443 4.657913e-12 4.051814e-02 pass
2000 2000 4 0.136 39.1927 4.657913e-12 4.051814e-02 pass
2000 2000 4 0.134 39.7658 4.657913e-12 4.051814e-02 pass
2000 2000 4 0.120 44.6044 4.657913e-12 4.051814e-02 pass
3000 3000 4 0.392 45.9896 8.375411e-12 3.225170e-02 pass
3000 3000 4 0.404 44.6213 8.375411e-12 3.225170e-02 pass
3000 3000 4 0.395 45.6573 8.375411e-12 3.225170e-02 pass
3000 3000 4 0.394 45.7669 8.375411e-12 3.225170e-02 pass
4000 4000 4 0.883 48.3517 2.060180e-11 4.490357e-02 pass
4000 4000 4 0.884 48.2945 2.060180e-11 4.490357e-02 pass
4000 4000 4 0.886 48.2090 2.060180e-11 4.490357e-02 pass
4000 4000 4 0.881 48.4496 2.060180e-11 4.490357e-02 pass
5000 5000 4 1.749 47.6738 3.111936e-11 4.339344e-02 pass
5000 5000 4 1.755 47.5117 3.111936e-11 4.339344e-02 pass
5000 5000 4 1.835 45.4484 3.111936e-11 4.339344e-02 pass
5000 5000 4 1.779 46.8613 3.111936e-11 4.339344e-02 pass
10000 10000 4 12.959 51.4605 9.915883e-11 3.496441e-02 pass
10000 10000 4 13.240 50.3684 9.915883e-11 3.496441e-02 pass

```

Na slici 7. je također prikazan Linpack test na drugom računalu. Najbolje ostvari rezultat je 66.3896 GFlops gdje je procesor radio na 3.369 GHz. Iako je konfiguracija bolja za prvo računalo drugo računalo je ostvarilo bolji rezultat. Razlog tome je što je procesor novije generacije od prvog procesora pa zbog toga ima na raspolaganju noviju tehnologiju.

Slika 7. - Prikaz rezultata testa na drugoj konfiguraciji

```

Intel(R) Optimized LINPACK Benchmark data

Current date/time: Thu Sep 01 16:34:14 2016

CPU frequency: 3.369 GHz
Number of CPUs: 1
Number of cores: 4
Number of threads: 4

Parameters are set to:

Number of tests: 12

Number of equations to solve (problem size) : 1000 2000 3000 4000 5000 10000 15000 20000 25000 30000 35000 40000
Leading dimension of array : 1000 2000 3000 4000 5000 10000 15000 20000 25000 30000 35000 40000
Number of trials to run : 4 4 4 4 4 2 2 2 2 1 1 1
Data alignment value (in Kbytes) : 4 4 4 4 4 4 4 4 4 4 4 4
Maximum memory requested that can be used=5000504096, at the size=25000

===== Timing linear equation system solver =====

Size LDA Align. Time(s) GFlops Residual Residual(norm) Check
1000 1000 4 0.016 41.4546 1.029343e-12 3.510325e-02 pass
1000 1000 4 0.014 48.0417 1.029343e-12 3.510325e-02 pass
1000 1000 4 0.027 25.0041 1.029343e-12 3.510325e-02 pass
1000 1000 4 0.013 52.6606 1.029343e-12 3.510325e-02 pass
2000 2000 4 0.112 47.5011 4.298950e-12 3.739560e-02 pass
2000 2000 4 0.170 31.3828 4.298950e-12 3.739560e-02 pass
2000 2000 4 0.113 47.0789 4.298950e-12 3.739560e-02 pass
2000 2000 4 0.112 47.7713 4.298950e-12 3.739560e-02 pass
3000 3000 4 0.631 28.5479 8.755385e-12 3.371489e-02 pass
3000 3000 4 0.333 54.0377 8.755385e-12 3.371489e-02 pass
3000 3000 4 0.578 31.1527 8.755385e-12 3.371489e-02 pass
3000 3000 4 0.624 28.8936 8.755385e-12 3.371489e-02 pass
4000 4000 4 1.358 31.4441 1.896949e-11 4.134580e-02 pass
4000 4000 4 0.832 51.3038 1.896949e-11 4.134580e-02 pass
4000 4000 4 0.821 52.0187 1.896949e-11 4.134580e-02 pass
4000 4000 4 0.787 54.2765 1.896949e-11 4.134580e-02 pass
5000 5000 4 2.078 40.1190 2.581643e-11 3.599893e-02 pass
5000 5000 4 1.634 51.0248 2.581643e-11 3.599893e-02 pass
5000 5000 4 1.256 66.3896 2.581643e-11 3.599893e-02 pass
5000 5000 4 1.731 48.1596 2.581643e-11 3.599893e-02 pass
10000 10000 4 13.772 48.4236 9.603002e-11 3.386116e-02 pass
10000 10000 4 13.119 50.8318 9.603002e-11 3.386116e-02 pass

```

Iz ovih testova koji su obavljeno na relativno jakim računalima vidljivo je koliko je zapravo velika razlika između običnog računala i superračunala. Računala svoju brzinu iznose u gigaflopsima, a superračunala svoju u petaflopsima. Također superračunala iz godine u godinu obaraju rekordne brzine svojih prethodnika.

6.2. Praćenje performansi

Za rješavanje problema na superračunala je potrebna složena interakcija između komponenti zbog čega je teško identificirati kvar u performansama i popraviti ga. Kako bi se taj proces olakšao razvijeno je puno hardvera i softvera kako bi se to što jednostavnije obavilo. Mnogi proizvođači će ponuditi hardversko rješenje u obliku hardvera čiji je zadatak da automatski mjeri kritične događaje kao što je to brzina rada superračunala itd. Ovakav hardver je kritičan za superračunala jer bez njih nije moguće izvršiti ovakva mjerenja bez da se utječe na performanse.²³ Treba napomenuti kako postoje i softverska rješenja koja će analizirati podatke, ali ona još uvijek nisu dovoljno razvijena pa je potrebno stalno održavanje i unaprjeđivanje. Također ona nisu još dovoljno dobro implementirana jer aplikacije nisu u mogućnosti da iskoriste podatke praćenja rada hardvera i promijeniti način rada po potrebi.

²³ ibidem, str. 148 str

7. Primjena superračunala

U prošlosti superračunala su bila korištena u znanstvene svrhe i vladinim organizacijama. Slična situacija je i danas, a jedina razlika je u tome što se danas superračunala koriste u industrijskom sektoru. Kao što se moglo do sada pročitati, superračunala su omogućila veliku uštedu vremena u izvedbi eksperimenata i analiziranja podataka, pa zbog toga nije iznenađujuće da su se nekad znanstvenici zapošljavali s nadom da će moći raditi na superračunalu. Iako su ona danas puno više prisutna nego prije, superračunala su i dalje ostala san za mnoge znanstvenike. Otkrića koja su se dogodila nakon izlaska superračunala CDC 6600 ne bi bila moguća da znanstvenici nisu imali na raspolaganju snagu superračunala. Današnja superračunala imaju široku lepezu primjene od obrane pa do analize klime, ali većinom su ta područja jednim dijelom financirana od strane vlade. Također neka od područja gdje se koriste superračunala imaju određenu razinu tajnosti npr. obrana. U sljedećem dijelu će biti objašnjene neke primjene superračunala.

7.1. Turbulencija

Svi događaji koji imaju turbulenciju to jest brzi tok i mješavinu plinova ili tekućina su izuzetno teški za proučavanje. Predviđanje efekta turbulencije, koja je uzrokovana zbog protoka zraka preko avionskog krila, propelera broda koji gura brod kroz vodu ili kada se dvije zračne struje sudare, je gotovo nemoguće. Najbolje što znanstvenici i inženjeri mogu napraviti je pokušati predvidjeti efekt pomoću matematičkih formula. Oni koriste calculus, granu matematike koja je zadužena kako se količina, npr. brzina vjetra, mijenja u odnosu na druge faktore kao što je to vrijeme, lokaciju itd. Meteorolozi redovno rade s turbulencijama kao dio njihovog posla. Poteškoća kod ovakvih problema, istraživanje klimatskih modela i predviđanje vremena je u tome što su oni promjenjivi. Vremenske pojave su rezultat interakcije mnogih faktora npr. tlak zraka, energija sunčevih zraka, temperatura zraka i rotacija Zemlje. To su sve faktori koji se konstantno mijenjaju pa je zbog toga izuzetno teško predvidjeti što bi se moglo desiti u budućnosti. Iako meteorolozi znaju fizikalne zakone, oni jednostavno ne mogu pratiti i analizirati sve promjene koje nastaju kako bi predvidjeli što će se desiti kroz nekoliko dana. Zbog toga im je potrebna snaga superračunala koja će im skratiti vrijeme

skupljanja podataka i njihovom analizom kako bi prognoza bila spremna na vrijeme. Prognoza vremena koju je moguće vidjeti na televiziji nije rezultat rada superračunala. Umjesto takve prognoze superračunala se koriste kako bi se otkrilo zašto se vrijeme ponaša tako kako se ponaša itd. Također se superračunalo koristi za simulaciju vremena na određenim prostorima i kakvo bi vrijeme imalo posljedice za taj dio površine.²⁴

7.2. Astronomija

Današnji astronomi, astrofizičari i ostali znanstvenici koji proučavaju svemir redovno koriste superračunala za eksperimente kako bi pronašli odgovore o nastanku svemira, gravitaciji crne rupe i supernove, i ostale misterije svemira koje ostaju neodgovorenim. U ovakvim situacijama superračunala se koriste za složene simulacije u kojima se prikazuje rezultati različitih teorija o različitim problema. Na temelju različitih podataka superračunalo pokušava simulirati uvjete i sami događaj.²⁵

7.3. Nuklearno oružje

Nekoliko najjačih superračunala na svijetu se u SADu koriste za sigurnost i provjeru ispravnosti zaliha nuklearnog oružja. Također je poznato da Francuska također koristi superračunalo u slične svrhe. SAD ima nekoliko superračunala u posjedu od proizvođača kao što su IBM, Silicon Graphics, Cray i Hewlett-Packard. Broj procesora u superračunalima se kreće otprilike od 2 000 pa do 131 000. Brzina superračunala također ima raspon od 3 Tflops pa do 360 Tflops. Za programiranje se obično koriste ANSI C, C++ i Fortran 90. Oni se također za različite simulacije korištenja nuklearnog oružja, unaprjeđivanje softvera, hardvera i algoritama koje nuklearno oružje koristi itd.²⁶

²⁴ Billings, C. W. i S. M. Grady., *Supercomputers*, New York, NY: Facts On File., 2004., str. 115-116

²⁵ Ibidem, str. 117

²⁶Graham, S. L., M. Snir, i C. A. Patterson., op.cit., str. 148

7.4. Obrana i prikupljane informacija

Veliki dio zahtjeva za superračunalima potječe od agencija koje su zadužene za prikupljanje informacija i održavanje obrane neke države. Superračunala su zadužena za presretanje i analiziranje stranih komunikacijskih signala koji su najvjerojatnije zaštićeni kompleksnim protumjerama. Superračunalo izvršava proces koji zahtjeva skupljanje, obrađivanje i prosljeđivanje dobivenih informacija u obliku izvještaja. Superračunala se koriste zbog dva razloga, kompleksnosti problema i vrijeme rješavanja problema. Zbog toga što su signali kriptirani snažnom zaštitom, potrebno je još snažnije računalo to jest superračunalo koje će imati dovoljno snage da riješi problem. Također kada je riječ o ovako osjetljivim informacijama gdje se može raditi o sprječavanju terorističkih napada ili nečeg sličnog vrijeme je od ključne važnosti. Superračunalo mora transformirati signal u formu koja ima razumljivo značenje, a nakon toga sve organizirati kako bi se informacije mogle prezentirati. Kada je riječ o obrani superračunala svoju primjenu nalaze u sljedećim područjima:

- Prognoza vremena i oceana
- Planiranje u slučaju zračnog ili vodenog napada
- Projektiranje aviona, brodova i ostalih struktura
- Utjecaj različitih oružja i njihovo unaprjeđivanje
- Kriptoanaliza
- Preživljavanje i pritajenost
- Nadgledanje
- Testovi i evaluacije

Mnoge aplikacije koje se koriste u navedenim stavkama jednostavno ne mogu kvalitetno raditi bez superračunala. Primjerice projektiranje ratnog aviona gdje se moraju uzeti u obzir kod dizajna aviona različiti faktori kao što je turbulencija zbog kojih je potrebno koristiti superračunalo inače rezultati neće biti dovoljno kvalitetni da bi zadovoljili stroge standarde. ²⁷

²⁷ loc. cit.

7.5. Klima

Kada se govori o klimi koristi se model Zemlje koji je dizajniran kako bi se prikazale globalne promjene. Model se sastoji od atmosferskog modela, oceanskog modela, kombiniranog modela zemlje, vegetacije, rijeka, morskog modela i modela za led. Modeli se koriste kako bi se što realnije prikazale i predvidjele promjene u klimi. Za takve operacije se uvijek koristilo superračunalo. Bez obzira na to koliko su superračunala napredovala od svojih početaka i snagu koju upotrebljavaju, ako bi koristili najbolje superračunalo koje je dostupno danas pri simulaciji klime od 100 do 1000 godina potrebne su tisuće sati rada superračunala kako bi se dobio rezultat. Kada se govori o korištenju superračunala za klimatska otkrića to ne podrazumijeva samo promjene kao što je predviđanja efekta staklenika, globalnog zatopljenja već i predviđanje elementarnih nepogoda kao što su to uragani, poplave i ostale nepogode.

28

7.6. Transport

Superračunala se koriste u mnogim područjima transportne industrije zbog toga što pružaju mnoge prednosti kao što je brže puštanje proizvoda u prodaju, smanjena potreba za fizičkim prototipovima, mogućnost istraživanja većih dizajna i dublje razumijevanje ponašanja prijevoznog sredstva. Također se bavi problemima kao što je sigurnost, razina bučnosti, vibracijama, izdržljivošću i prijenosom topline. Za ovakve probleme trajanje rješenja problema u prosjeku traje od nekoliko sati pa do nekoliko tjedana ovisno o samom problemu.²⁹

²⁸ loc. cit.

²⁹ loc. cit.

8. Budućnost superračunala

Superračunala se sastoje od dijelova običnih računala iako su u pravilu oni puno snažniji od onih koje koristi običan korisnik, ipak ograničenja koja im obično računalo su prenesena na superračunalo. To je razlog zbog kojeg se superračunala mogu razvijati samo do određene granice. Znanstvenici smatraju da je budućnost superračunala u kvantnom računalu i optičkom računalu koji napuštaju arhitekturu računala i funkcioniraju na drugoj razini.

Optičko računalo koristi fotone lasera ili dioda za rad računala. Ta promjena bi omogućila korištenje većih brzina od trenutnih računala koja koriste elektrone. Stvaranje optičkog računala se pokušava ostvariti na način da se trenutne komponente računala zamijene s optičkim komponentama. Još uvijek se ne mogu zamijeniti sve komponente s optičkom komponentom pa je zbog toga nastalo optičko-elektroničko računalo. Međutim zbog toga što je signali moraju stalno pretvarati iz jednog u drugog i obrnuto, puno energije se gubi na toj pretvorbi. Također se usporava prijenos poruke zbog tog pretvaranja pa zbog toga ovakvo rješenje još uvijek nije dovoljno dobro za svakodnevnu upotrebu. Najveća prepreka za optička računala je stvaranje mikroskopskih optičkih prekidača koji će zamijeniti elektronske tranzistore. Prekidač bi se trebao sastojati od minijaturnih ogledala i leća koje bi pretvarale signale, ali oni moraju biti izuzetno precizni zbog čega je tako nešto teško proizvoditi. Još jedan od problema za optička računala je memorija. Sadašnja računala koriste princip uključenog i isključenog tranzistora, ali to nije tako lako u slučaju optičkog računala. Postavlja se pitanje kako bi uzeli svjetlost tj. fotone i zapisali ih u memoriju. Jedna od opcija je da se signal pretvori u elektronski signal tako da obična memorija može razumjeti signal, ali kao što je već napisano taj proces uzima previše vremena te će na kraju usporiti rad računala. Još jedan od problema optičkih računala je cijena. Optičko računalo koristi fotone, a kako bi to učinkovito radilo potrebno je da računalo radi na točno određenim frekvencijama. Preciznost koja je potrebna za normalan rad optičkog računala se jako skupo naplaćuje. Sva optička računala koja su napravljena, bila su napravljena u laboratorijima i zbog toga nisu još uvijek dovoljno optimizirana za industrijsku proizvodnju.³⁰

³⁰ Billings, C. W. i S. M. Grady, op. cit., str. 178-182

Drugi smjer u kojem se superračunala kreću su kvantna računala. Ona su osnovana na temelju kvantne fizike. Kvantno računalo koristi kvantne bitove to jest qubitove u funkciji procesora i memorije računala. To je omogućeno zbog što bi računalo koristili određena svojstva atoma i njihov jezgri. Računala koja se koriste danas kodiraju informacije u bitove, a kvantna računala kodiraju informacije kao kvantno mehanička stanja. Dok obično računalo koristi brojeve 0 i 1 te njihove kombinacije, broj koji izražava stanje qubitova je nalazi negdje između 1 i 0. Trenutno postoje već kvantna računala, ali ona nisu još uvijek dovoljno razvijena kako bi se koristile naprednije aplikacije. Ona trenutno mogu raditi samo određene matematičke operacije. Smatra se da kvantna računala nisu primjerena za obavljanje poslova kao što je to obrada teksta, ali su gotovo idealna za poslove poput modeliranja i indeksiranje velikih baza podataka i kriptografije.³¹

Trenutno oba pravca su daleko izvan mogućnosti velike proizvodnje zbog svoje cijene, ali i zbog svoje nekompatibilnosti sa složenim aplikacijama. Međutim oni postaju sve bliža budućnost jer velika poduzeća kao što je to Google već godinama ulažu u razvoj kvantnih računala kako bi unaprijedili svoju tehnologiju.

³¹ "How Quantum Computers Work", *Howstuffworks.*, 2000., <http://computer.howstuffworks.com/quantum-computer.htm> , (pristupljeno 27.08.2016.)

9. Zaključak

Iz svega navedenog može se zaključiti kako su superračunala zaslužna za veliki dio znanstvenih otkrića koja su se dogodila proteklih godina i napretke u svakodnevnom životu kao što je izgradnja sigurnije infrastrukture i dizajniranje sigurnijeg transporta. Nažalost šira populacija ljudi nije svjesna da su superračunala zaslužna za takve napretke i doživljava ih kao znanstvenu fantastiku. Pri pisanju ovog rada shvatio sam da su superračunala kao dio računalstva relativno slabo obrađena. Već kod traženja imena prvog superračunala dolazi se do različitih informacija. Neki izvori smatraju da je IBM Stretch prvo superračunalo koje je napravljeno dok drugi izvori navode Atlas kao superračunalo. Iako su oba računala bila izuzetno brza u svoje vrijeme niti jedno od njih službeno nije bilo superračunalo nego znanstveno računalo. Smatram da su superračunala danas neizostavni dio ljudskog napretka bez kojih on nije moguć. Zbog toga se superračunala iz godine u godine sve više unaprjeđuju kako bi se moglo doći do novih saznanja o stvarima o kojima nismo ništa znali. Superračunala će morati evoluirati jer sa vremenom fizička ograničenja računala neće dopustiti daljnji napredak u performansama. Već sada postoje određeni prototipovi optičkih i kvantnih računala, ali nažalost oni još nisu spremni zamijeniti superračunala koja trenutno imaju daleko širu mogućnost primjene. Bez obzira na sve mane koje ta računala trenutno imaju zbog nedovoljno razvijene tehnologije, sigurno će u budućnosti zamijeniti sadašnja superračunala jer će ta računala nadomjestiti nedostatke superračunala i omogućiti nam daljnje razvijanje.

Literatura

Knjige:

1. Graham, S. L., M. Snir, i C. A. Patterson., *Getting Up To Speed*, Washington, DC: National Academies Press., 2005.
2. Loo, Alfred Wai-Sing, *Peer-To-Peer Computing*, London, Springer, 2007.
3. Kiš, M., *Informatički Rječnik Za Školu I Dom*, Rijeka, Andromeda d.o.o., 2006.
4. Billings, C. W. i S. M. Grady., *Supercomputers*, New York, NY: Facts On File., 2004.

Online članci:

1. "What Is FLOPS (Floating-Point Operations Per Second)?", *Whatis.Com.*, 2016 [http://whatis.techtarget.com/definition/FLOPS-floating-point-operations-per-second.](http://whatis.techtarget.com/definition/FLOPS-floating-point-operations-per-second/), (pristupljeno 27.08.2016.)
2. "IBM Stretch (Aka IBM 7030 Data Processing System)", *Brouhaha.Com.*, 2016, [http://www.brouhaha.com/~eric/retrocomputing/ibm/stretch/.](http://www.brouhaha.com/~eric/retrocomputing/ibm/stretch/), (pristupljeno 27.08.2016.)
3. "History Of Computers And Computing, Birth Of The Modern Computer, Electronic Computer, Atlas Computer", 2016., *History-Computer.Com.* [http://history-computer.com/ModernComputer/Electronic/Atlas.html.](http://history-computer.com/ModernComputer/Electronic/Atlas.html) , (pristupljeno 27.08.2016.)
4. "Control Data Corporation, CDC-6600 & 7600", 2016., *Ed-Thelen.Org.* [http://ed-thelen.org/comp-hist/vs-cdc-6600.html.](http://ed-thelen.org/comp-hist/vs-cdc-6600.html), (pristupljeno 27.08.2016.)
5. "Seymour Cray, The Father Of Supercomputing | Cray", *Cray.Com*, 2016., [http://www.cray.com/company/history/seymour-cray.](http://www.cray.com/company/history/seymour-cray) , (pristupljeno 27.08.2016.)
6. "Mikhail A. Kartsev, Development Of Computer Science And Technologies In Ukraine". 2016. *Icfcst.Kiev.Ua.* [http://www.icfcst.kiev.ua/MUSEUM/Kartsev.html.](http://www.icfcst.kiev.ua/MUSEUM/Kartsev.html), (pristupljeno 27.08.2016.)
7. Matlis Jan, "A Brief History Of Supercomputers". *Computerworld.*, 2005, [http://www.computerworld.com.au/article/132504/brief_history_supercomputer_s/.](http://www.computerworld.com.au/article/132504/brief_history_supercomputer_s/) , (pristupljeno 27.08.2016.)
8. Anthony, Sebastian, " The History Of Supercomputers - Slideshow | Extremetech". *Extremetech.*, 2016., [http://www.extremetech.com/extreme/125271-the-history-of-supercomputers/4.](http://www.extremetech.com/extreme/125271-the-history-of-supercomputers/4), (pristupljeno 27.08.2016.)
9. Storlie, Curtis, Joe Sexton, Scott Pakin, Michael Lang, Brian Reich i William Rust. "Modeling And Predicting Power Consumption Of High Performance Computing Jobs". *Arxiv.Org.*, 2014., [https://arxiv.org/abs/1412.5247.](https://arxiv.org/abs/1412.5247), (pristupljeno 27.08.2016.)
10. "How Quantum Computers Work", *Howstuffworks.*, 2000., [http://computer.howstuffworks.com/quantum-computer.htm.](http://computer.howstuffworks.com/quantum-computer.htm) , (pristupljeno 27.08.2016.)

Izvori slika:

Slika 1. Stretchova konzola za održavanje

https://sakuraakiyama.files.wordpress.com/2014/04/ibm7030_p1040281.jpg

Slika 2. Tranzistor od germanija

http://www.diyguitarpedals.com.au/shop/images/GT308V_TB.jpg

Slika 3. Tranzistori od silikona

<http://loving.co.za/wp-content/uploads/2014/06/1954.jpg>

Slika 4., Prikaz rada kontrolne točke

<https://www.olcf.ornl.gov/wp-content/uploads/2015/10/Checkpointing-Overview.png>

Slika 5., Prikaz rezultata Linpack testa na procesoru koji radi na 2.983 Ghz

Slika 6., Prikaz rezultata testa na overclockiranom procesoru

Slika 7., Prikaz rezultata testa na drugoj konfiguraciji

Izvori tablica:

Tablica 1., Kratki povijesni pregled jačine računala i superračunala (vlastita izrada)

Tablica 2., Prikaz svih korištenih OS

<https://www.top500.org/statistics/list/>

Izvori grafikona:

Grafikon 1., Prikaz potrošnje energije superračunala Luna

<https://arxiv.org/abs/1412.5247>

Grafikon 2., Prikaz korištenosti operacijskog sustava u 500 najboljih superračunala

<https://www.top500.org/statistics/list/>

Grafikon 3., Prikaz operacijskih sustava po računalnoj snazi kojom raspolažu

<https://www.top500.org/statistics/list/>

Popis slika

Slika 1- Stretchova konzola za održavanje	4
Slika 2 - Tranzistor od germanija	5
Slika 3 - Tranzistori od silikona	5
Slika 4 - Prikaz rada kontrolne točke	17
Slika 5. - Prikaz rezultata Linpack testa na procesoru koji radi na 2.983 Ghz	20
Slika 6. - Prikaz rezultata testa na overclockiranom procesoru	21
Slika 7. - Prikaz rezultata testa na drugoj konfiguraciji	22

Popis tablica

Tablica 1 - Kratki povijesni pregled jačine računala i superračunala	3
Tablica 2 - Prikaz svih korištenih OS	13

Popis grafikona

Grafikon 1 - Prikaz potrošnje energije superračunala Luna	8
Grafikon 2 - Prikaz korištenosti operacijskog sustava u 500 najboljih superračunala	12
Grafikon 3 - Prikaz operacijskih sustava po računalnoj snazi kojom raspolažu	12

Sažetak

Superračunala su najbrža, najskuplja i najveća računala koja se koriste. Mogu se svrstati u tri skupine. Superračunala koja koriste off-the-shelf procesora koja su jeftinija i većinom se koriste u industriji, znanstvena superračunala koja su skuplja, ali ostvaruju bolje rezultate i hibridna superračunala koja koriste prednosti jednog i drugog superračunala. Prvo superračunalo je napravio Seymour Cray pod nazivom CDC 6600. On je jedan od najutjecajnijih osoba za superračunala jer je sa svojim superračunalima diktirao tržištem jedno desetljeće. Superračunala se baziraju na računalima pa su stoga naslijedili njihova ograničenja i nedostatke. Jedan od najvećih problema superračunala je pregrijavanje koje se danas rješava na različite načine. Superračunala imaju razvijen posebno razvijen softver kako bi se njihova snaga što bolje iskoristila. Od komercijalnih operacijskih sustava Linux je najzastupljenija platforma, ali jača superračunala će imati svoj operacijski sustav prilagođen za to superračunalo. Superračunala imaju široku primjenu, od obrane i prikupljanja informacija pa sve do astronomije i transporta. Budućnost superračunala se vidi se u optičkim i kvantnim računalima koja trenutno nisu dovoljno razvijena da bi se mogla proizvoditi.

Summary

Supercomputers are the fastest, most expensive and biggest usable computers. They can be classified into three groups. Commodity supercomputers that use off-the-shelf processors, which are less expensive and used more in industry, scientific supercomputers, which are more expensive but have better performance. There is also hybrid supercomputers that take advantage of both supercomputers. The first supercomputer was made by Seymour Cray and it was named CDC 6600. He is one of the most influential people in supercomputers field because he dictated with supercomputer market for one decade. Supercomputers are based on computers and because of that they inherited their limitations and disadvantages. One of the biggest problems is the overheating of supercomputers which are now solved in different ways. Supercomputer software is specially developed to help supercomputer use its full potential. Supercomputers usually use Linux operating system if they are using commercial operating system but strongest supercomputers usually have their own operating system. Supercomputers are widely used, from defense and intelligence to astronomy and transportation. The future of supercomputers is seen in optical and quantum computer which are currently still not sufficiently developed to able to produce.