

Mjerenje performansi računala

Felbar, David

Undergraduate thesis / Završni rad

2020

Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj: **University of Rijeka / Sveučilište u Rijeci**

Permanent link / Trajna poveznica: <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:195:823376>

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

Download date / Datum preuzimanja: **2025-02-22**



Repository / Repozitorij:

[Repository of the University of Rijeka, Faculty of Informatics and Digital Technologies - INFORI Repository](#)



Sveučilište u Rijeci – Odjel za informatiku

Preddiplomski studij informatike

David Felbar

Mjerenje performansi računala

Završni rad

Mentor: doc. dr. sc. Miran Pobar

Rijeka, 18.09.2020

Rijeka, 1.6.2020.

Zadatak za završni rad

Pristupnik: David Felbar

Naziv završnog rada: Mjerenje performansi računala

Naziv završnog rada na eng. jeziku: Computer performance testing

Sadržaj zadatka:

Proučiti problem mjerenja i prikaza rezultata testiranja performansi računala. Navesti i opisati primjere standardiziranih testova i često korištenih neformalnih testova za pojedine elemente računalnog sustava (CPU, GPU, memorije).

Mentor

doc. dr. sc. Miran Pobar



Voditelj za završne radove

doc. dr. sc. Miran Pobar



Zadatak preuzet: 1.6.2020.

(potpis pristupnika)

Sadržaj

Sažetak i ključne riječi	3
1 Uvod.....	4
2 Razrada teme.....	5
2.1 Procesor	5
2.1.1 Opis karakteristika procesora	5
2.1.2 Mjerenje performansi procesora.....	13
2.2 Grafička kartica	22
2.2.1 Opis karakteristika grafičke kartice.....	22
2.2.2 Mjerenje performansi grafičke kartice	27
2.3 Pohrana	37
2.3.1 Tvrdi disk (Hard Disk Drive – HDD)	37
2.3.2 Solid state disk (SSD)	38
2.3.3 Usporedba između tvrdog diska i solid state diska	38
2.3.4 Mjerenje performansi medija za pohranu.....	38
3 Zaključak.....	40
4 Prilozi.....	41
5 Literatura.....	43

Sažetak i ključne riječi

Cilj ovog rada je pobliže objasniti karakteristike koje definiraju performanse komponenti računala. Razrada teme svake komponente obrađene se zasniva na razmatranju dijelova komponenti i novih tehnologija povezanih s njima kako bi se dobio uvid u način rada pojedine komponente. Nakon opisa glavnih dijelova komponente slijedi opis metoda mjerenja performansi, gdje je naglasak stavljen na raščlambu mjerenja performansi svih operacija koje određena komponenta može odrađivati. Takvim pristupom prikazana je važnost mjerenja performansi u različitim radnim okolnostima te vrijednost skupa rezultata takvog mjerenja u obliku konačnog rezultata kojega možemo smatrati kao ocjena performansi neke komponente.

Pristup raščlambe je također važan zbog trenutnog tržišta, gdje proizvođači ponekad koriste simulirane slučajeve kako bi prikazali vrijednosti performansi komponenti u teoriji koju je gotovo nemoguće primijeniti na uvjete s kojima se susrećemo u svakodnevnom životu.

U radu su također prikazani neki od alata kojima se služimo za mjerenje performansi koji se smatraju trenutnim standardom te su opisane metode mjerenja koje koriste navedeni alati.

Fokus rada je na centralnoj procesnoj jedinici (CPU), odnosno procesoru zbog mogućnosti jasne podjele karakteristika komponente te istraživanje njihova utjecaja na sveukupne performanse.

Ključne riječi: mjerenje performansi računala, procesor, CPU, grafička kartica, GPU, pohrana, alat za mjerenje performansi, benchmark, radni takt, kompajler, jezgre, CUDA, MIPS, priručna memorija, cache, arhitektura procesora, FLOPS, operacije sa pomičnim zarezom, kernel, jezgra, nit, thread, compute, protočnost podataka, sučelje, Phoronix test suite, NVIDIA, AMD.

1 Uvod

Od početka razvoja računala postoji želja za bržim, efikasnijim i preciznijim rezultatima u računalstvu. Napredak tehnologije je dozvolio rapidan rast u performansama računala a samim time i broju informacija koje možemo obraditi. Mooreov zakon je poznato opažanje koje govori da se broj tranzistora u integriranom krugu udvostručuje otprilike svake dvije godine. Broj tranzistora utječe na performanse procesora na više načina, primjerice veći broj tranzistora omogućuje veću gustoću istih na procesoru te se na taj način smanjuje udaljenost između svakog tranzistora i dozvoljava postavljanje više jezgri na manji prostor. Također, u izvedbi instrukcija koje imaju više odvojenih grana izvođenja sa većim brojem tranzistora se smanjuje kašnjenje u izvođenju instrukcija tako što neki tranzistori unaprijed odrade instrukcije te operacije potrebne sprema u priručnu (cache) memoriju. U današnje vrijeme su takva predviđanja Mooreovog zakona o eksponencijalnom rastu tranzistora ipak umanjena.

Napretkom „brzine“ računala i sve većom uporabom računala dolazi do povećanja broja i različitosti u specifikacijama komponenti te postaje teže odlučiti „koja je bolja“, a važnost stabilnog i pouzdanog mjerenja performansi raste. Proizvođači također koriste razne softvere zbog provjere stabilnosti i sigurnosti, ali i u svrhu natjecanja sa drugim proizvodima na tržištu. Naravno, kao i kod drugih industrija, rezultati su odabrani na način da se proizvod predstavi u najboljem svjetlu, te je važnost različitih oblika testiranja sve veća.

Iako specifikacije procesora i tvrdnje proizvođača o performansama imaju svoj značaj, one se ne prenose nužno na performanse u svakodnevnim aplikacijama. Teoretske ili maksimalne performanse prikazuju apsolutni maksimum procesora koji je postignut u striktno definiranim zadacima koji maksimalno iskorištavaju arhitekturu procesora. Maksimum procesora nije moguće postići korištenjem svakodnevnog softvera, gdje može doći do zasićenja priručne („cache“) memorije prema kojoj procesor ima najkraće vrijeme pristupanja, te je prisiljen koristiti radnu memoriju koja je znatno sporija. Također, softver može koristiti i druge komponente računala poput grafičke kartice, pohrane ili Internet mreže, koje mogu biti takozvano usko grlo ili „bottleneck“.

Bottleneck ili „usko grlo“ je termin koji se koristi za opis djelovanja jedne komponente koja je u usporedbi sa ostatkom sustava sporija, te umanjuje performanse sustava. Ta pojava je relativno česta kod računala, pošto je gotovo nemoguće stvoriti konfiguraciju komponenti koja je savršeno balansirana, već se teži što manjoj međusobnoj razlici između komponenti.

Previđioc, kompajler ili „compiler“ je još jedan faktor koji utječe na performanse određenog procesora u određenom programu. Kompajler je program koji prevodi kod napisan u jednom programskom jeziku u drugi jezik. Najčešće se radi o pretvorbi programskog jezika visoke razine (C++, C#, PHP, Python...) u jezik niže razine, strojni jezik („assembly language“ i „machine language“) koji daje jasne instrukcije procesoru. Pošto performanse procesora možemo mjeriti u vremenu izvedbe instrukcija, za procesor koji može odraditi određen broj instrukcija u određenom vremenu utjecaj će imati broj instrukcija koji kompajler prevede iz izvornog jezika. Kada govorimo o performansama računala, postoje komponente koje najviše pridonose poboljšanju istih. Mjerenje performansi računala zapravo svodimo na mjerenje performansi zasebnih komponenti, kako bi dobili bolju predodžbu svih faktora koji pridonose performansama računala.

2 Razrada teme

2.1 Processor

2.1.1 Opis karakteristika procesora

Prvenstveno takozvani „mozak“ računala, procesor odnosno CPU (central processing unit) obavlja naredbe nad podacima računala i upravlja ostalim računalnim komponentama. Samim time, njegove performanse direktno utječu na performanse računala. S obzirom da povijest procesora seže do 1971. godine kada je prvi komercijalni procesor bio Intel 4004 korišten u kalkulatoru, zbog jednostavnosti praćenja i mjerenja performansi fokus ovog rada biti će na komponente korištene u računalima kakvi su u današnjoj uporabi.

Osnovne značajke procesora koje utječu na performanse su sama arhitektura procesora, radni takt, broj milijuna instrukcija po sekundi (MIPS), broj instrukcija po ciklusu (IPC) , broj jezgri i niti, veličina „cache“ ili priručne memorije, duljina riječi koju može obraditi, odnosno broj bitova koje procesor može obraditi odjednom (najčešće 32 ili 64 bita) te mogućnost tzv. overclockinga, odnosno mijenjanje tvorničkih vrijednosti radnog takta procesora podizanjem ulaznog napona na procesor što rezultira većim radnim taktom komponente.

Jedan od najjednostavnijih načina povećanja performansi procesora je povećanje njegovog radnog takta. Radni takt procesora određuje broj ciklusa koje procesor izvede u sekundi. To je frekvencija pri kojoj generator (elektronički oscilator) pulsira signale u obliku sinusoide koja se kasnije pretvara u digitalni kvadratni val. Uz njega je usko vezan pojam *instructions per cycle*, „IPC“ , odnosno broj instrukcija po ciklusu koje procesor izvodi [1]. Povećanjem vrijednosti radnog takta dolazimo do većeg broja ciklusa po sekundi a to dovodi do većeg broja izvođenih instrukcija. Proizvođači imaju mogućnost napraviti procesore koji koriste veće brzine radnog takta i na taj način brže obrađuju podatke. Korisnici također mogu sami podešavati brzinu takta te na taj način „istisnuti“ ponešto performansi iz svojeg procesora, to se naziva overclocking i iako je korisno za ubrzanje računala može dovesti do nestabilnosti i pregrijavanja.

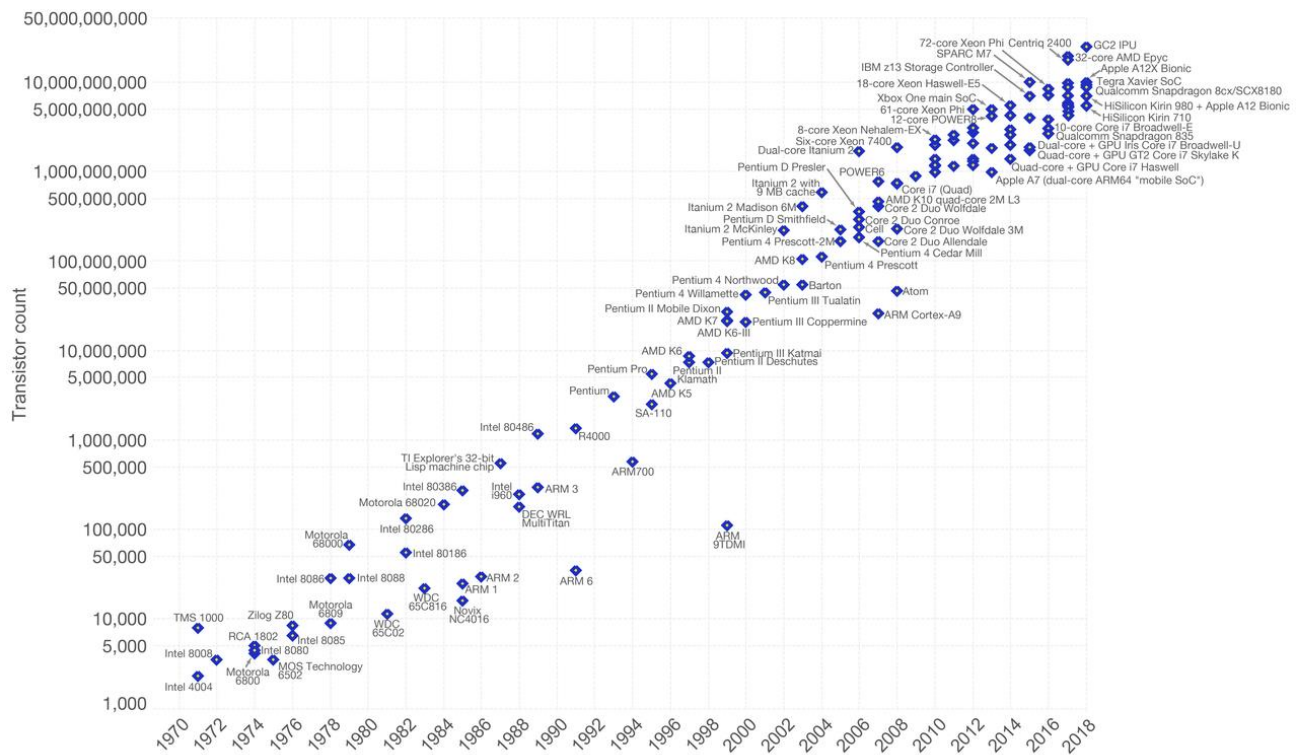
Ciklus procesora označava jedan elektronički impuls procesora. Tokom jednog ciklusa procesor obavlja jednostavne naredbe poput dobavljanja instrukcija, pristupa memoriji ili upisa podataka. IPC ili broj instrukcija po ciklusu je još jedan od načina mjerenja i usporedbe performansi procesora. Označava prosječan broj instrukcija koje procesor odradi tokom jednog ciklusa. Množenjem broja instrukcija po ciklusu sa radnim taktom procesora dolazimo do broja instrukcija po sekundi. Također, postoji aspekt procesora koji se naziva *cycles per instruction*, CPI, što označava broj ciklusa po instrukciji, koji predstavlja inverzan broj instrukcija po ciklusu. Radni takt i ciklus procesora su povezani, odnosno radni takt procesora je broj ciklusa koje taj procesora izvede u sekundi, primjerice procesor koji odradi 3 milijuna ciklusa u sekundi će imati radni takt 3 MHz.

Skraćenica MIPS označava broj milijuna instrukcija po sekundi, te je jedna od najstarijih metoda usporedbe performansi procesora. Nažalost, MIPS ne označava performanse samog procesora već performanse u izvođenju nekog zadatka u odnosu na neku referentnu vrijednost. MIPS ovisi o arhitekturi procesora, tako primjerice procesori CISC i RISC arhitekture će imati različiti broj MIPS. Procesori CISC arhitekture imaju glavni zadatak obaviti neki zadatak sa što manje linija asemblerskog koda te zato imaju ugrađene naprednije funkcije (npr. Funkciju MULT koja u jednoj liniji koda množi vrijednosti spremljene u dva različita registra). RISC arhitektura koristi drugačiji pristup, ona se bazira na optimizaciji izvođenja zadataka tako što koristi samo instrukcije koje se mogu u jednom ciklusu rada procesora. Ukoliko RISC i CISC arhitekture odrade zadatak u istom vremenu, RISC procesor će imati znatno veći broj milijuna instrukcija po sekundi zbog jednostavnijih instrukcija no to ne ukazuje na veće performanse samog procesora već primjerice na efikasnost koda ili kompajlera.

Broj jezgri omogućuje obradu većeg broja podataka istovremeno. Pomoću većeg broja jezgri možemo više zadataka izvršiti istovremeno, korištenjem paralelnog izvođenja te se na taj način smanjuje vrijeme potrebno da se izvrši neki zadatak. No, pošto paralelizam nije uvijek moguć odvojeno mjerimo performanse jedne jezgre procesora i više jezgri procesora.

Broj niti se odnosi na broj virtualnih jezgri koje operativni sustav prepoznaje kao fizičke jezgre. Svaki proces koji se pokrene na računalu stvara jednu nit na kojoj se izvodi, primjerice procesor bez tehnologija poput Hyperthreadinga sa dvije jezgre može imati dvije niti za izvođenje procesa, no ukoliko procesor ima Hyperthreading tehnologiju koja je dostupna na Intel procesorima, dvije fizičke jezgre procesora postaju četiri logičke jezgre te se tako broj niti povećava na ukupno četiri, što omogućuje istovremeno izvođenje više procesa odnosno zadataka. Povećanje niti omogućuje bolje performanse procesora kada govorimo o sustavima koji izvode više zadaća ili kad jedan proces može koristiti više niti za bolju organizaciju i izvršenje naredbi.

Temperatura je još jedan često zanemaren čimbenik koji neizravno utječe na performanse procesora, odnosno povećanjem radnog takta dovodi se veći napon na elektroničke komponente te temperatura procesora raste. Noviji procesori imaju veću „gustoću“ čipa te veći radni takt. To dovodi do vrlo brzog pregrijavanja ili u konačnici uništenja procesora ukoliko njegovo hlađenje prestane funkcionirati. Zato svi noviji procesori imaju takozvano termičko prigušivanje ili „thermal throttling“ kako bi sami sebe zaštitili. Kada detektiraju preveliku temperaturu smanjuju radni takt procesora i na taj način samu temperaturu na čipu.

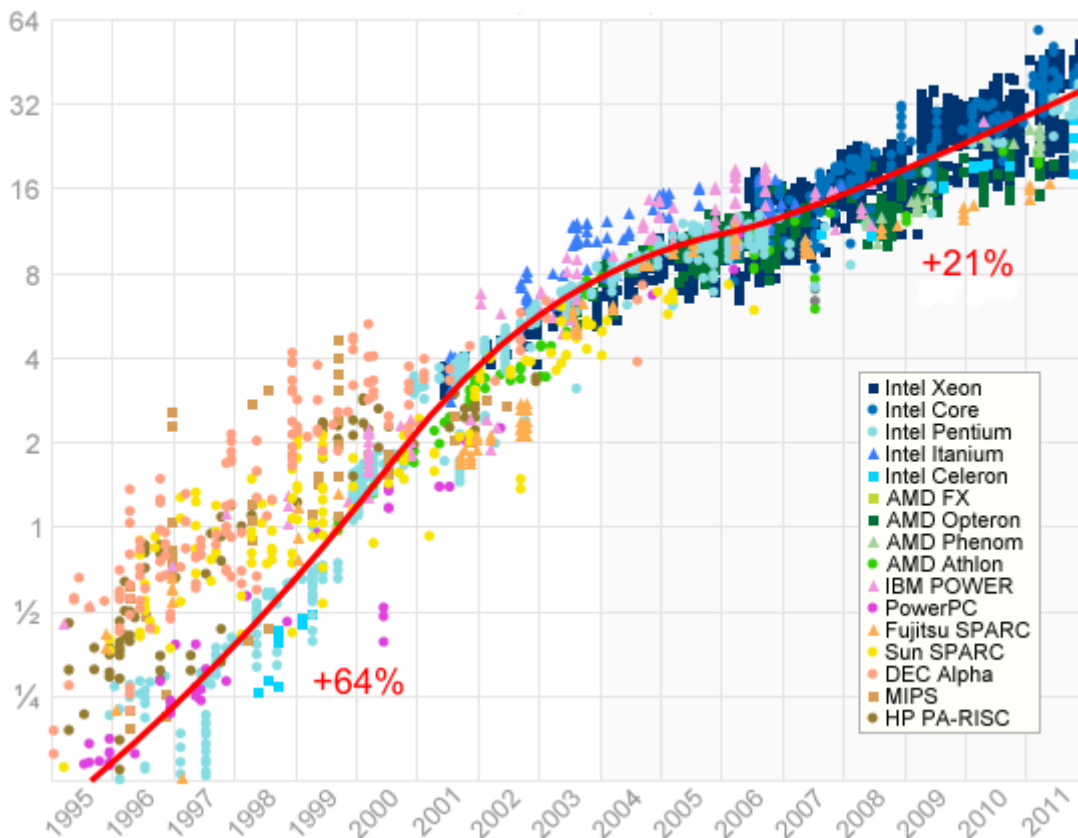


SLIKA 1 MOOREOV ZAKON¹

Slika 1 prikazuje trend rasta broja tranzistora na mikroprocesorima od 1970. godine do 2018. Vidimo da trend prati Mooreov zakon, tj. broj tranzistora se udvostručuje gotovo svake dvije godine [2], što dovodi do mogućnosti povećanja broja jezgri i veće priručne memorije, što ima veliki utjecaj na performanse te će važnost priručne memorije u povećanju performansi biti objašnjena dalje u radu.

¹ <https://www.visualcapitalist.com/visualizing-moores-law-in-action-1971-2019/>

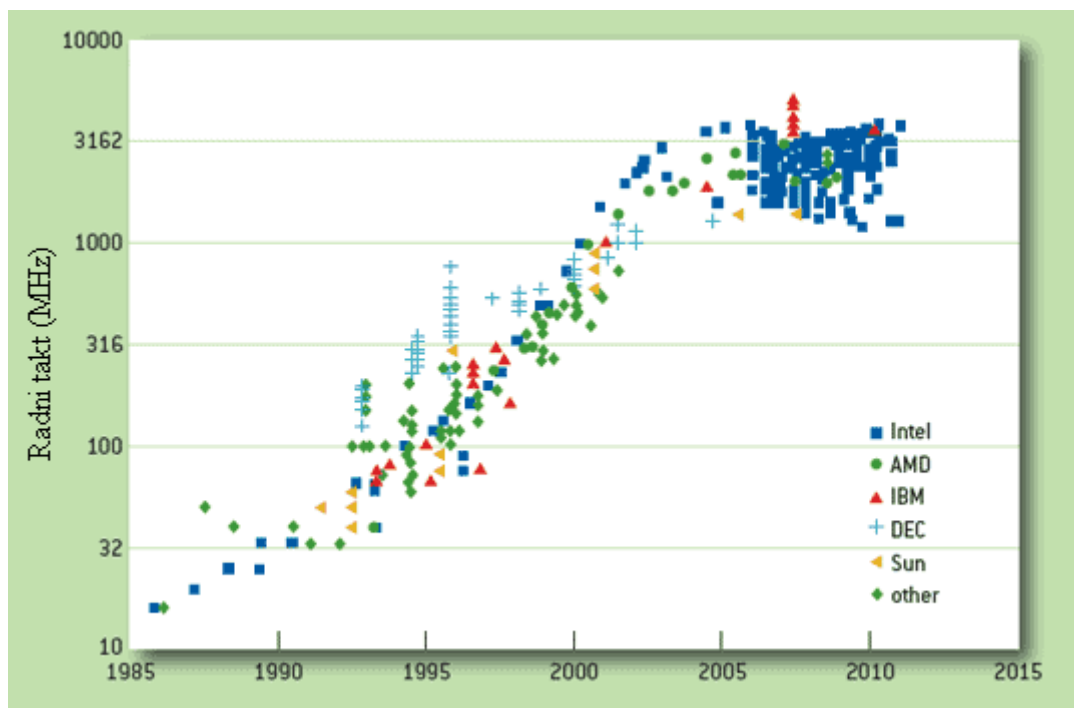
Performanse u jednojezgrenoj izvedbi SPECfp testa



Slika 2 RAST PERFORMANSI JEDNOJEZGRENE IZVEDBE OPERACIJA SA POMIČNIM ZAREZOM²

Slika 2 grafički prikazuje rast performansi jednojezgrenih operacija u takozvanim operacijama sa pomičnim zarezom („floating point“) te daje naziv procesora koji je postigao određeni rezultat. Floating point ili FLOPS (floating point operacija po sekundi) je jedan od načina ocjene performanse računala. Floating point aritmetika se koristi za računanje vrlo velikim i vrlo malim brojevima, tj. može prikazati veliki raspon brojeva.

² <https://preshing.com/20120208/a-look-back-at-single-threaded-cpu-performance/>



SLIKA 3 PORAST RADNOG TAKTA PROCESORA KROZ GODINE³

Kada usporedimo Sliku 2 i Sliku 3 vidimo da iako je radni takt procesora 2005. godine počeo stagnirati ili čak opadati, performanse su i dalje nastavile trend poboljšanja [3] [4]. Višejezgreni procesori su izašli na tržište 2005. godine te su proizvođači smanjili radni takt kako bi se prilagodili povećanim temperaturama i potrošnji snage, što također vidimo na Tablici 1.

TABLICA 1 PRIKAZ ODNOSA PRIRUČNE MEMORIJE I RADNOG TAKTA PROCESORA⁴

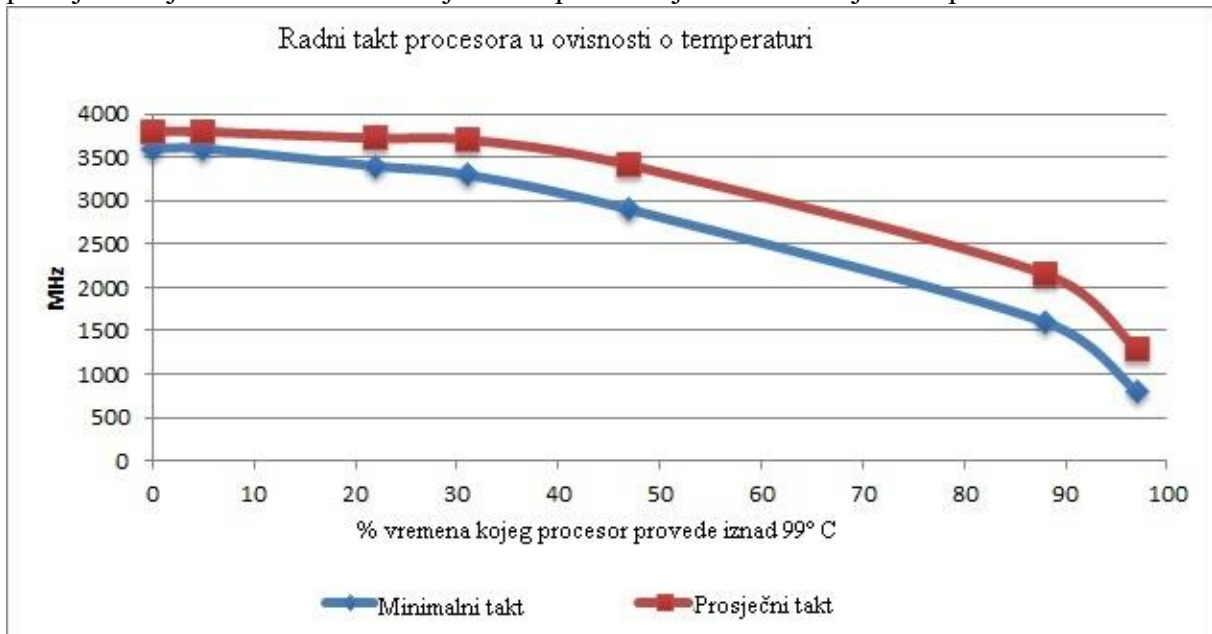
Dostupno na tržištu	Prilagođeni rezultat	Model procesora	Radni takt	Priručna memorija
02. 2004	8.1	Intel Pentium 4	3200 MHz	28KB L1, 1MB L2
07. 2005	10.5	AMD Athlon 64 FX-57	2800 MHz	128KB L1, 1MB L2
07. 2006	11.4	Intel Core 2 Duo E6300	1867 MHz	64KB L1, 2MB L2
07. 2007	13.3	Intel Core 2 Duo T7700	2400 MHz	64KB L1, 4MB L2
09. 2008	17.9	Intel Core 2 Duo T9600	2800 MHz	64KB L1, 6MB L2
05. 2009	21.8	Intel Core 2 Duo E7600	3066 MHz	64KB L1, 3MB L2
07. 2010	24.3	Intel Core i3-540	3067 MHz	64KB L1, 256KB L2, 4MB L3
06. 2011	31.7	Intel Pentium G850	2900 MHz	64KB L1, 256KB L2, 3MB L3

³ <https://queue.acm.org/detail.cfm?id=2181798>

⁴ <https://preshing.com/20120208/a-look-back-at-single-threaded-cpu-performance/>

Tablica 1 prikazuje kako radni takt pada, proizvođači obraćaju veću pažnju na priručnu memoriju. Priručna memorija je manja, brža memorija koju procesor koristi kako bi izbjegao pristup podacima u radnoj memoriji za koji je potrebno više vremena. Povećanjem priručne memorije procesor brže obavlja zadatke jer se povećava vjerojatnost da će podatak koji je potreban biti u brzijoj priručnoj memoriji. Priručna memorija je brža od radne memorije jer se nalazi bliže procesoru, odnosno može biti u sklopu procesora te koristi drugačiju arhitekturu.

Gotovo svaki moderni procesor ima ugrađenu zaštitu od prevelike temperature. Kako bi se održala stabilnost i performanse procesora, potrebno je osigurati adekvatno hlađenje [5], te je u današnje vrijeme standardno koristiti vodeno hlađenje na komponentama koje se izlažu povećanom stresu, posebice kada se tvornički radni takt i napajanje komponente povećaju („overclocking“). Graf na Slici 4. prikazuje promjenu radnog takta ovisno o vremenu kojeg procesor provede iznad 99°C. Vidimo znatno smanjenje radnog takta porastom temperature te postaje jasno zašto je optimizacija hlađenja procesora bitna.

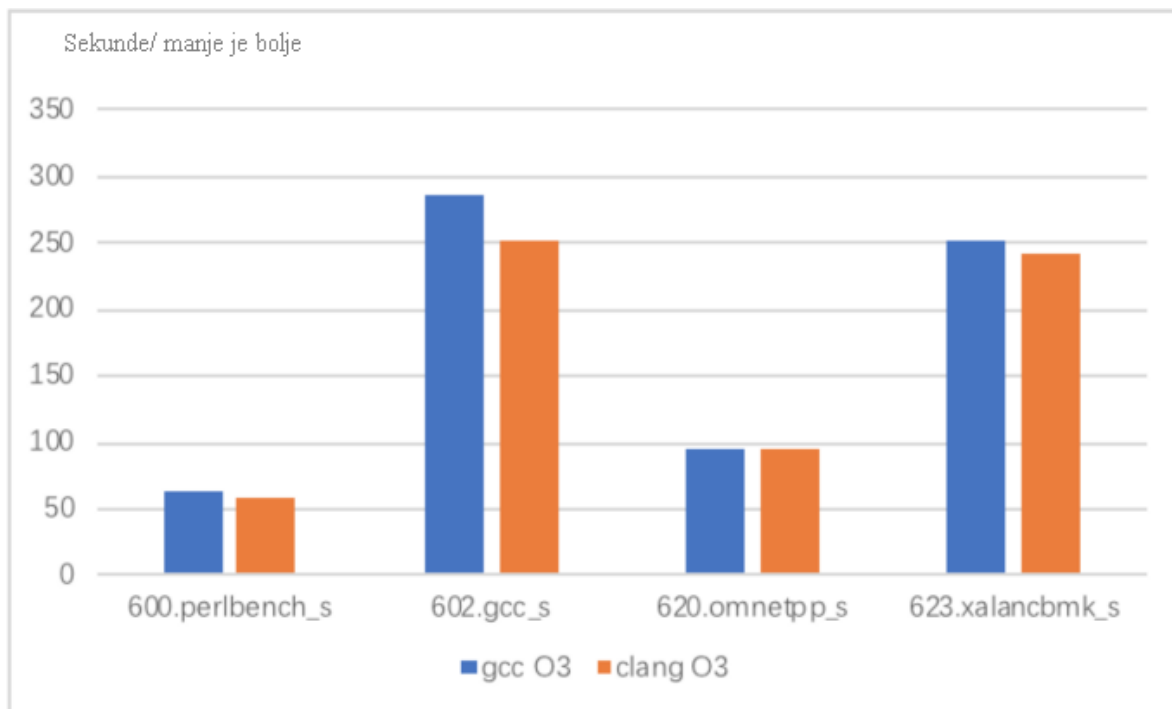


SLIKA 4 RADNI TAKT U ODNOSU NA TEMPERATURU PROCESORA⁵

Kako bi pobliže objasnili razlike između dva kompajlera koristiti će dva često korištena kompajlera, GCC i Clang/LLVM, koji su uspoređeni pomoću SPEC alata za mjerenje performansi procesora.

Brzina izvođenja kompajlera za SPEC alat je mjerena i rezultati su prikazani Slikom 5.

⁵ <https://www.pugetsystems.com/labs/articles/Impact-of-Temperature-on-Intel-CPU-Performance-606/>

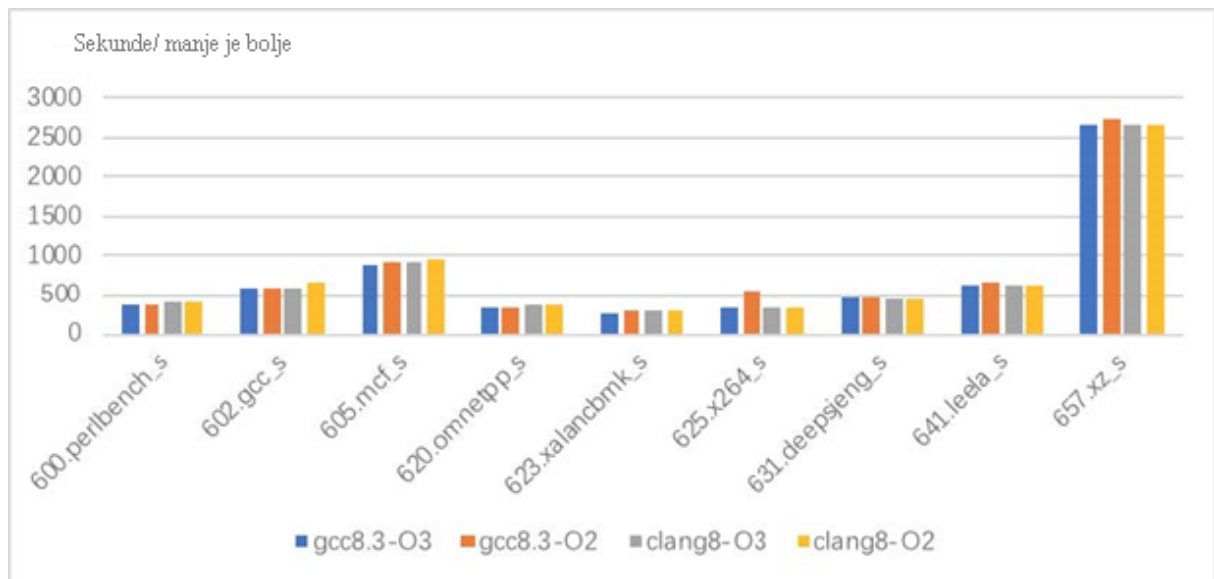


SLIKA 5 BRZINA PRETVORBE U STROJNI JEZIK CLANG I GCC⁶

Vidljivo je da Clang ima brže vrijeme pretvorbe koda u strojni jezik te generiranje izlazne datoteke strojnog jezika za 5% do 10%, te je zato prigodan za izradu većih projekata [6]. No ovo je samo prikaz razlike u brzini pretvorbe koda u strojni jezik, utjecaj kompajlera prikazan je sljedećom usporedbom.

Usporedba pomoću SPEC INT Speed alata koja se izvodila na O2 i O3 razinama optimizacije koja je izvođena u brzim iteracijama zbog promjena u zahtjevima zadatka je prikazana Slikom 6.

⁶ https://medium.com/@alitech_2017/gcc-vs-clang-llvm-an-in-depth-comparison-of-c-c-compilers-899ede2be378



SLIKA 6 USPOREDBA CLANG I GCC KOMPJLERA U SPECINT SPEED NA RAZLIČITIM RAZINAMA OPTIMIZACIJE⁷

GCC u prosjeku ima 3% veće performanse od Clang kompajlera što upućuje na prednost GCC kompajlera u optimizaciji performansi u svim programima osim 631.deepsjeng_s i 641.leela_s koji su programi vezani uz umjetnu inteligenciju [6].

Rezultati mjerenja performansi GCC i Clang kompajlera nas dovodi do zaključka da je Clang bolje primijeniti na velikim projektima dok GCC uvijek ima prednost u optimizaciji [6].

⁷ https://medium.com/@alitech_2017/gcc-vs-clang-llvm-an-in-depth-comparison-of-c-c-compilers-899ede2be378

2.1.2 Mjerenje performansi procesora

Softver za mjerenje performansi računala dijelimo na više tipova od kojih svaki ima zadatak provjeriti određeni aspekt performansi. Najčešće se dijele na kernele - jezgre stvarnih programa, mjerenje performansi stvarnih aplikacija, takozvani „toy benchmark“ koji su programi od stotinjak linija koda koji služe za brzo mjerenje performansi različitih računala i kompajlera te sintetički programi za mjerenje performansi koji pokušavaju replicirati izvedbu stvarnih programa.

2.1.2.1 Kernel benchmark

Primjer softvera za mjerenje performansi koji spada u kategoriju kernel benchmarka je LINPACK koji mjeri brzinu računala u izračunu linearnih jednadžbi. LINPACK vrši operacije na velikoj matrici (dvodimenzionalnom polju), no potprogrami tretiraju matricu kao jednodimenzionalno polje, što je čest način optimizacije za Fortran. Rezultat mjerenja izražen u MFLOPS-ima, što označava milijun operacija sa pomičnim zarezom u sekundi. Zbog rezultata u MFLOPS-ima, vidno je da su operacije bez pomičnog zareza zanemarene ili uračunate na drugi način, primjerice uključivanjem u vrijeme potrebno da se izvedu operacije sa pomičnim zarezom.

2.1.2.2 Performanse stvarnih programa

Mjerenje performansi stvarnih programa se koristi kada je potrebna usporedba različitih konfiguracija računala u određenom programu. Najčešće se mjeri brzina kompresije datoteka, izvoz projekata iz Adobe seta alata ili 3D prikaz. Vrijeme u kojem računalo odradi zadatak se koristi kao rezultat mjerenja performansi.

2.1.2.3 Toy benchmarks

Jednostavni programi za mjerenje performansi („toy benchmarks“) mogu biti jednostavni programi ili dijelovi programa, primjerice algoritmi za sortiranje (npr. Algoritam quicksort).

2.1.2.4 Sintetički benchmark

Sintetički benchmark nastoji replicirati karakteristike velikih setova programa, te se stvara jedan program koji ima istu učestalost izvođenja naredbi poput one koju imaju velike skupine programa za mjerenje performansi. Najpoznatiji su Whetstone i Dhrystone.

Whetstone mjeri brzinu i učinkovitost znanstvenih programa, te koristi operacije koje koriste znanstvene aplikacije. Izvodi funkcije poput sinusa, kosinusa, eksponenta, logaritmiranja te pristup poljima, uvjetnom grananju i pozivanje procedura. Vršni mjerenje na operacijama sa cijelim brojevima i brojevima sa pomičnim zarezom, a rezultat je dan u jedinicama zvanim KWIPS (kilo whetstone instrukcija po sekundi). Whetstone kao metoda mjerenja performansi je osjetljiva o kompajleru koji se koristi, pošto ne koristi lokalne varijable nego nekoliko globalnih podataka u ponavljanjima. Zato kompajler koji najčešće korištene globalne varijable alocira u registre poboljšava performanse.

Dhrystone ne koristi operacije nad pomičnim zarezima, no većinu vremena izvođenja provodi nad funkcijama sa znakovima promjenjive duljine (string funkcije), u krajnjim slučajevima čak do 40%. Ne sadrži petlje u glavnoj petlji mjerenja što znači da mikroprocesori sa malom priručnom memorijom za instrukcije za gotovo svaku pristupnu instrukciju dobije „promašaj“ u priručnoj memoriji, no čim priručna memorija postane veća od petlje mjerenja, svaka pristupna instrukcija je „pogodak“.

2.1.2.5 SPEC benchmark

Još neki od poznatijih softvera za mjerenja performansi procesora su SPECint i SPECfp razvijeni od strane Standard Performance Evaluation Corporation te se koristi više u poslovnim okruženjima. SPECint služi za mjerenje performansi za računanje cijelih brojeva. SPEC CPU 2017 se sastoji od 43 različitih mjerenja podijeljenih u 4 kategorije, prikazanih Slikom 7.

SPECrate@2017 Integer	SPECspeed@2017 Integer	Jezik	KLOC[2]	Područje mjerenja
500.perlbench_r	600.perlbench_s	C	362	Perl interpreter
502.gcc_r	602.gcc_s	C	1,304	GNU C kompajler
505.mcf_r	605.mcf_s	C	3	Planiranje rute
520.omnetpp_r	620.omnetpp_s	C++	134	Simulacija diskretnih događaja
523.xalancbmk_r	623.xalancbmk_s	C++	520	Konverzija XML u HTML
525.x264_r	625.x264_s	C	96	Kompresija videozapisa
531.deepsjeng_r	631.deepsjeng_s	C++	10	Umjetna inteligencija (šah)
541.leela_r	641.leela_s	C++	21	Umjetna inteligencija - Monte Carlo algoritam
548.exchange2_r	648.exchange2_s	Fortran	1	Umjetna inteligencija - Rekurzivno traženje rješenja (sudoku)
557.xz_r	657.xz_s	C	33	Kompresija podataka

SPECrate@2017 Floating Point	SPECspeed@2017 Floating Point	Jezik	KLOC[2]	Područje mjerenja
503.bwaves_r	603.bwaves_s	Fortran	1	Modeliranje eksplozija
507.cactuBSSN_r	607.cactuBSSN_s	C++, C, Fortran	257	Fizika - relativnost
508.namd_r		C++	8	Molekularna dinamika
510.parest_r		C++	427	Biomedicinsko snimanje - optička tomografija
511.povray_r		C++, C	170	Ray tracing - praćenje generiranih zraka
519.lbm_r	619.lbm_s	C	1	Dinamika fluida
521.wrf_r	621.wrf_s	Fortran, C	991	Prognoza vremena
526.blender_r		C++, C	1,577	3D prikaz i animacija
527.cam4_r	627.cam4_s	Fortran, C	407	Modeliranje atmosfere
	628.pop2_s	Fortran, C	338	Modeliranje oceana velikih razmjera
538.imagick_r	638.imagick_s	C	259	Manipulacija slika
544.nab_r	644.nab_s	C	24	Molekularna dinamika
549.fotonik3d_r	649.fotonik3d_s	Fortran	14	Računalna elektromagnetika
554.roms_r	654.roms_s	Fortran	210	Regionalno modeliranje oceana

SLIKA 7 PODJELA I OPIS PODRUČJA MJERENJA SPEC 2017 PAKETA⁸

SPEC CPU 2017 mjeri performanse procesora, memorije (hijerarhiju memorije, uključujući priručnu memoriju procesora i radnu memoriju) i kompajlere za jezike C,C++ i Fortran te optimizaciju istih [7]. Ne opterećuje ostale komponente poput internetske mreže, grafike, ulazno-izlaznog sustava i ne testira Java programski jezik. Također, set softvera za mjerenje performansi unutar SPEC CPU 2017 paketa je izlučen iz stvarnih aplikacija koje se najčešće koriste.

Primjerice, perlbench je umanjena verzija popularnog jezika Perl V5.22.1 kojoj su maknute značajke vezane uz interakciju sa operativnim sustavom. Koristi tri skripte, SpamAssasin koji vrši provjeru za „spam“ (neželjenu poštu) na nasumično generiranim uzorcima poruka e-pošte [7]. Druga skripta koju koristi je pretvorba e-pošte u HTML gdje vrši konverziju nasumično generiranih poruka e-pošte u HTML format. Treća skripta je ona koju koriste prethodne dvije za generiranje poruka e-pošte pomoću specdiff skripte koja je dio paketa CPU2017.

Još jedan od potprograma za mjerenje performansi paketa SPEC CPU2017 je xz koji se bavi kompresijom podataka. Baza programa je „XZ Utils“ autora Lasse Colin-a no s namjerom

⁸ <https://www.spec.org/cpu2017/Docs/overview.html>

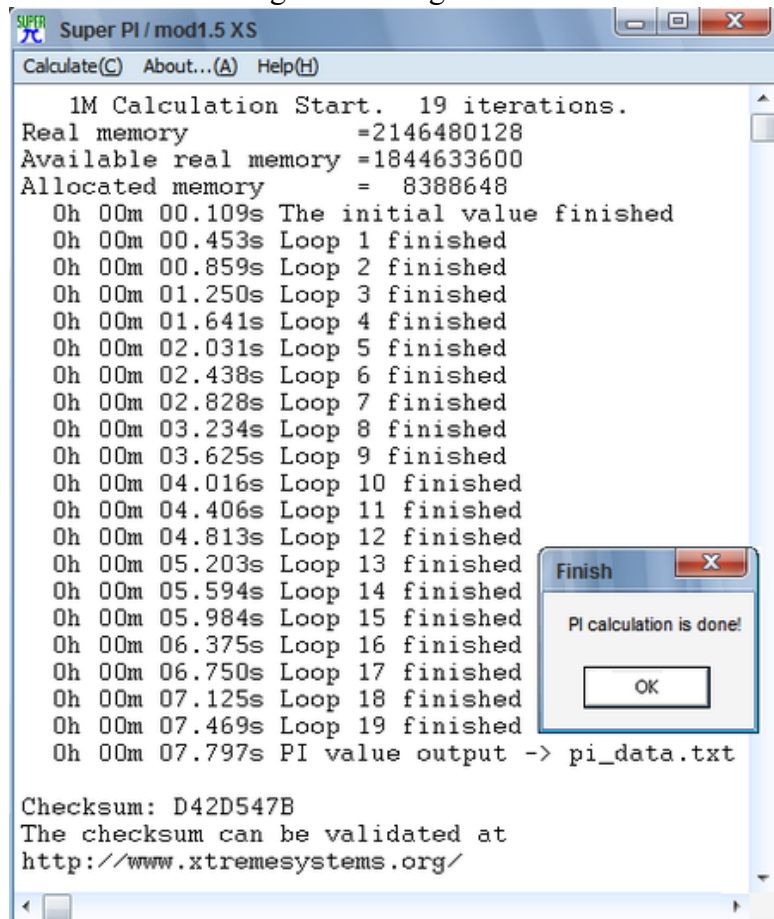
mjerenja performansi procesora uvedene su promjene. Ne koristi gotovo nikakav ulaz-izlaz datoteke osim čitanja ulaznih podataka, a svu kompresiju i dekompresiju u memoriji. Na taj način mjeri performanse procesora te isključuje mogućnost nastanka uskog grla na ulazno-izlaznom sustavu [7].

Prisutni su i programi iz polja umjetne inteligencije, poput exchange2 koji rješava 9×9 sudoku slagalice. Vršiti mjerenje na funkcijama Fortran 95 koje upravljaju cjelobrojnim poljima te uvelike koristi rekurziju.

Iz područja fizike imamo primjerice „lbm“ potprogram koji koristi takozvanu Lattice Boltzmann metodu za 3d simulaciju nestlačivih tekućina koja je dio većeg koda koji se koristi u istraživanju karakteristika materijala [7].

2.1.2.6 Super PI i wPrime

Super PI [8] je također jedan od češće korištenih softvera za mjerenje performansi CPU-a ali i dobar način za testiranje stabilnosti sustava zbog opterećenja koje stavlja na procesor. Popularan je među korisnicima koji se bave overclockingom pošto povećanjem radnog takta može doći do nestabilnosti. Super PI računa broj Pi do predodređenog broja znamenki [9]. Koristi Gauss-Legendre algoritam i računa do 32 milijuna znamenki.

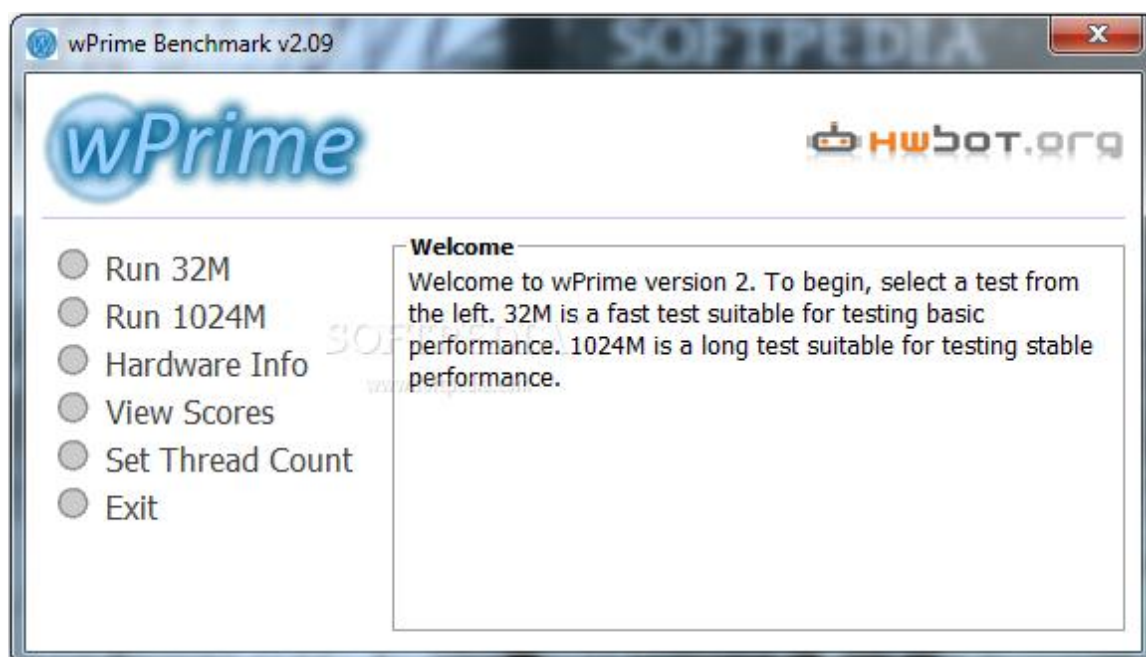


SLIKA 8 SUČELJE SUPER PI PROGRAMA⁹

⁹ https://en.wikipedia.org/wiki/Super_PI#/media/File:Super_PI_Mod1.5_XS.png

Sučelje je veoma jednostavno, što prikazuje Slika 8 te je dostupan „cheksum“ ili provjera moguće greške na kraju izvođenja programa. Super PI radi na jednoj niti procesora, te je to njegov glavni nedostatak u današnje vrijeme višejezgrenih procesora.

Super PI u današnje doba ima nasljednika, to je wPrime koji koristi mogućnosti višejezgrenih procesora koji su standard današnje industrije. wPrime koristi Newton-ovu metodu za računanje određenog broja kvadratnih korijena za aproksimacijske funkcije te vrši provjeru tako da ih kvadrira i uspoređuje sa početnim brojevima. Glavna značajka je da ima mogućnost iskoristiti 100% resursa višejezgrenih procesora.



SLIKA 9 SUČELJE WPRIME ALATA¹⁰








Sučelje wPrime-a, prikazano Slikom 9. je nešto modernije ali vidimo i dvije mogućnosti mjerenja performansi, 32M koji služi za brzo testiranje performansi i 1024M koji je fokusiran na stabilnost zbog većeg vremena izvođenja testa.

Također, web stranice poput hwbot.org služe za prikaz najboljih rezultata wPrime softvera [9]. Najčešći su rezultati takozvanih entuzijasta, osoba koje se bave ubrzavanjem procesora do ekstremnih granica. Tablica 2 prikazuje najbolje rezultate dobivene u wPrime 32m a Tablica 3 prikazuje najbolje rezultati wPrime testa na procesorima sa jednom jezgrom. Vidimo iznimno velike radne taktove procesora postignute overclockingom no također primjećujemo već spomenutu potrebu za adekvatnim hlađenjem, svi najbolji rezultati su postignuti hlađenjem pomoću tekućeg dušika kako bi održali stabilne temperature.






¹⁰ <https://hwbot.org/>

TABLICA 2 WPRIME 32M – GRUPIRANO PO BROJU JEZGRI KOJE SE KORISTE¹¹

wPrime 32m koristi više jezgri procesora, te je ljestvica organizirana po broju jezgri koje su korištene.

Benchmark - broj jezgri	Najbolji rezultat
wPrime - 32m - 1x CPU	 21sec 466ms
wPrime - 32m - 2x CPU	 5sec 750ms
wPrime - 32m - 3x CPU	 7sec 125ms
wPrime - 32m - 4x CPU	 2sec 765ms
wPrime - 32m - 5x CPU	 4sec 532ms
wPrime - 32m - 6x CPU	 1sec 937ms
wPrime - 32m - 8x CPU	 1sec 468ms
wPrime - 32m - 10x CPU	 1sec 171ms
wPrime - 32m - 12x CPU	 1sec 282ms

TABLICA 3 WPRIME 32M REZULTATI JEDNOJEZGRENIH PROCESORA

	Rezultat	Korisnik	Radni takt procesora	Procesor	Hlađenje
1.	21sec 466ms	 l.nfraR.ed	6720 MHz	AMD Sempron 145	LN2
2.	21sec 938ms	 Doc.Brown	6568 MHz	AMD Sempron 150	LN2
3.	22sec 266ms	 cnzdrn	6481 MHz	AMD Sempron 150	LN2
4.	22sec 308ms	 topdog	6453 MHz	AMD Sempron 145	LN2
5.	22sec 328ms	 Ananerbe	6510 MHz	AMD Sempron 145	LN2

2.1.2.7 Phoronix Test Suite

Phoronix Test Suite je često korišten besplatan softver otvorenog koda za mjerenje performansi računala. Dostupan je za Linux OS, Windows, Mac OS i ostale rjeđe korištene poput FreeBSD, OpenBSD te OpenSolaris. Omogućuje jednostavno dodavanje novih potprograma za mjerenje performansi svih aspekta računala te je moguće automatizirati cijelu proceduru mjerenja performansi, od instalacije potprograma do njihovog izvođenja i generacije izvještaja [10]. Phoronix Test Suite također ima integraciju sa OpenBenchmark.org organizacijom koja nudi mogućnost usporedbe rezultata mjerenja sa drugim korisnicima. Podržano je preko 100 paketa za testiranje koji omogućuju sve od praćenja potrošnje baterije do mjerenja performansi višenitnog („multithreaded“) iscrtavanja zraka svjetlosti („ray tracing“). Phoronix također nudi detaljan prikaz informacija o softveru i hardveru koji su instalirani na sustav kojega se nadzire. Koristi arhitekturu za testiranje čija je osnova XML te vrši testiranja i na velikom broju OpenGL igara. Interaktivno sučelje je dostupno no može se koristiti i u sučelju komandne linije koja nudi preko velik broj komandi za analizu rezultata te

¹¹ https://hwbot.org/benchmark/wprime_-_32m/

validaciju testnih profila. Neki od najpopularnijih testova koje korisnici mogu pokrenuti pomoću Phoronix Suite-a su:

Apache Benchmark koji mjeri koliko zahtjeva po sekundi određeni sustav može podržati dok mu je zadano 700,000 zahtjeva od kojih se 100 odrađuje istovremeno. Ovaj test se najčešće koristi za mjerenje performansi HTTP web servera.

TABLICA 4 NAJBOLJI REZULTATI APACHE BENCHMARKA¹²

Procesor	Percentil	Prosječan broj zahtjeva po sekundi
Intel Core i5-7600K	100th	47275
Intel Core i7-8086K	100th	42797
Intel Core i3-8100	100th	41923

Timed Linux Kernel Compilation koji mjeri vrijeme potrebno za izradu (build) Linux jezgre u zadanoj konfiguraciji.

TABLICA 5 NAJBOLJI REZULTATI TIMED LINUX KERNEL COMPILATION BENCHMARKA¹³

Procesor	Percentil	Sekundi (prosjeak)
2 x AMD EPYC 7742 64-Core	100th	19
2 x AMD EPYC 7642 48-Core	99th	20
2 x AMD EPYC 7552 48-Core	98th	21

LAME MP3 Encoding vrši kodiranje WAV audio datoteke u MP3 format.

TABLICA 6 NAJBOLJI REZULTATI LAME MP3 ENCODING BENCHMARKA¹⁴

Procesor	Percentil	Sekundi (prosjeak)
AMD Ryzen Threadripper 3960X 24-Core	99th	7
AMD Ryzen Threadripper 3990X 64-Core	98th	7
AMD Ryzen 9 3950X 16-Core	97th	7

C-Ray je jednostavna izvedba iscrtavanja zraka svjetlosti (ray tracinga) kako bi testirala performanse procesora u operacijama sa pomičnim zarezom. Test se izvodi na više niti procesora (do 16 po jezgri) te generira sliku rezolucije 1600 x 1200px.

¹² <https://openbenchmarking.org/test/pts/apache>

¹³ <https://openbenchmarking.org/test/pts/build-linux-kernel>

¹⁴ <https://openbenchmarking.org/test/pts/encode-mp3>

TABLICA 7 NAJBOLJI REZULTATI C-RAY BENCHMARKA¹⁵

Procesor	Percentil	Prosječan broj sekundi
2 x AMD EPYC 7742 64-Core	100th	6
AMD Ryzen Threadripper 3990X 64-Core	99th	11
2 x AMD EPYC 7502 32-Core	99th	11

John The Ripper koji je takozvani password cracker, odnosno program koji pokušava sve moguće kombinacije znakova kako bi došao do određene zaporke. Izrađen je za Unix operativni sustav, no danas podržava i Windows operativni sustav, MacOS, web aplikacije, baze podataka te kriptirane zaporke različitim algoritmima primjerice SSH, GnuPg.

TABLICA 8 NAJBOLJI REZULTATI JOHN THE RIPPER BENCHMARKA¹⁶

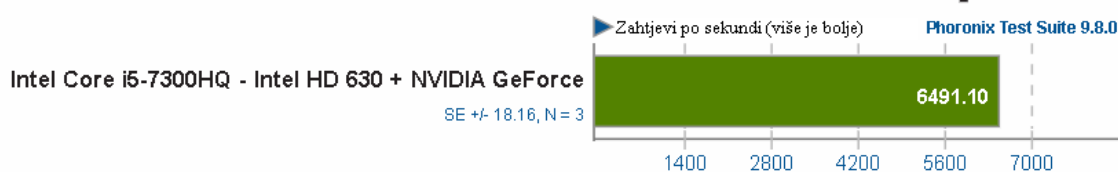
Procesor	Percentil	Stvarni c/s (kandidati/sekundi)
2 x AMD EPYC 7742 64-Core	100th	167053
2 x AMD EPYC 7642 48-Core	100th	135382
2 x AMD EPYC 7502 32-Core	99th	104013

Tablica 9, Tablica 10, Tablica 11 i Tablica 12 prikazuju rezultate mojeg prijenosnog računala u prethodno opisanim testovima, izuzevši Timed Linux Kernel Compilation test koji je dostupan samo na Linux operativnim sustavima, za procesor Intel Core i5-7300HQ te Intel HD 630 integriranu grafičku karticu i Nvidia GeForce 1050 dedikiranu grafičku karticu i 8GB RAM-a.

TABLICA 9 REZULTATI MOJEG RAČUNALA U APACHE BENCHMARKU

Apache Benchmark v2.4.29

Static Web Page Serving



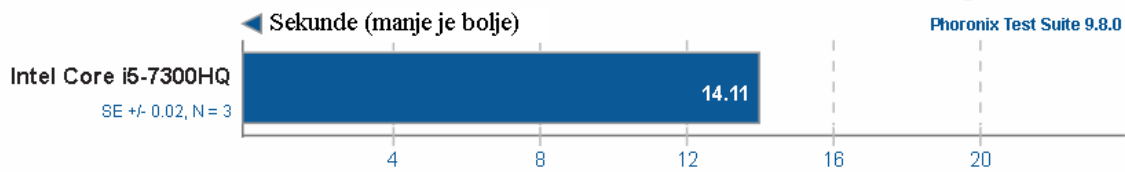
¹⁵ <https://openbenchmarking.org/test/pts/c-ray>

¹⁶ <https://openbenchmarking.org/test/pts/john-the-ripper>

TABLICA 10 REZULTATI MOJEG RAČUNALA U LAME MP3 ENCODING BENCHMARKU

LAME MP3 Encoding v3.100

WAV To MP3



[View Test Installation Logs](#)

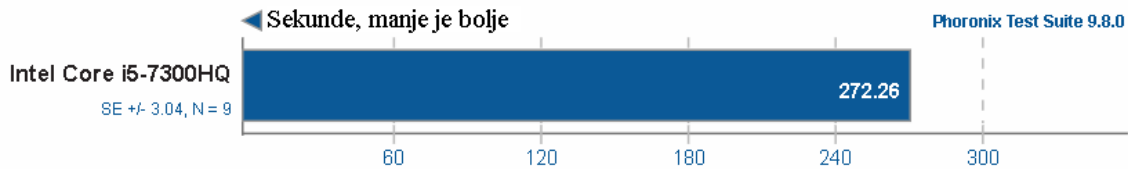
[Delete Result](#)

[Add Annotation](#)

TABLICA 11 REZULTATI MOJEG RAČUNALA U C-RAY BENCHMARKU

C-Ray v1.1

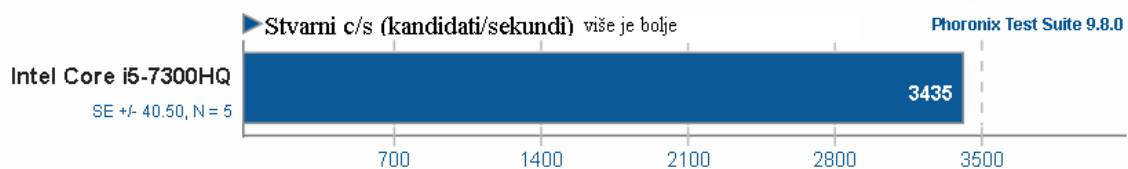
Total Time - 4K, 16 Rays Per Pixel



TABLICA 12 REZULTATI MOJEG RAČUNALA U JOHN THE RIPPER BENCHMARKU KORISTEĆI BLOWFISH I MD5 ENKRIPCIJU

John The Ripper v1.9.0-jumbo-1

Test: Blowfish



[View Test Run Logs](#)

[View Test Installation Logs](#)

[Delete Result](#)

[Add Annotation](#)

John The Ripper v1.9.0-jumbo-1

Test: MD5



[View Test Run Logs](#)

[View Test Installation Logs](#)

[Delete Result](#)

[Add Annotation](#)

Phoronix Test Suite nudi i interaktivnu verziju unutar komandne linije koja olakšava izvođenje osnovnih operacija bez pisanja opsežnih komandi unutar komandne linije.

```
Phoronix Test Suite v9.8.0
Interactive Benchmarking

PROCESSOR:          Intel Core i5-7300HQ @ 2.50GHz
Core Count:        4
Cache Size:        1024 KB

GRAPHICS:           Intel HD 630 + NVIDIA GeForce GTX 1050 4GB
Frequency:         1911/3504MHz
Display Driver:    451.67 (26.20.100.7325)
Screen:            1920x1080

MOTHERBOARD:       ASUS X580UD
BIOS Version:      X580UD.315
Network:           TAP-NordUPN Windows U9
                   + Windscribe UPN
                   + Intel Dual Band Wireless-AC 8265

MEMORY:             2 x 4096 MB 2400MHz Samsung M471A5244CB0-CRC

DISK:               238GB ADATA SX8200PNP + 932GB ST1000LM035-1RK172
File-System:       FAT

OPERATING SYSTEM:  Microsoft Windows 10 Pro Build 18363
Kernel:            10.0 (x86_64)
Compiler:          GCC 8.3.0
Security:          __user pointer sanitization: Disabled
                   + IBPB: Always
                   + IBRS: Enabled
                   + STIBP: Enabled
                   + KPTI Enabled: Yes
                   + PTE Inversion: Yes

System Serial Number: N0CU1728MB0054374

1: Run A Test / Benchmark
2: Run A Suite      [A Collection Of Tests]
3: Run A Stress Test [Concurrent Benchmarks For Heavy System Load]
4: Show System Hardware / Software Information
5: Show Available System Sensors
6: List Available Tests
7: List Recommended Tests
8: Search Tests / Suites / Results
9: Backup Results To Media Storage
10: Exit
Select Task:
```

SLIKA 10 PHORONIX TEST SUITE U OBLIKU INTERAKTIVNE KOMANDNE LINIJE

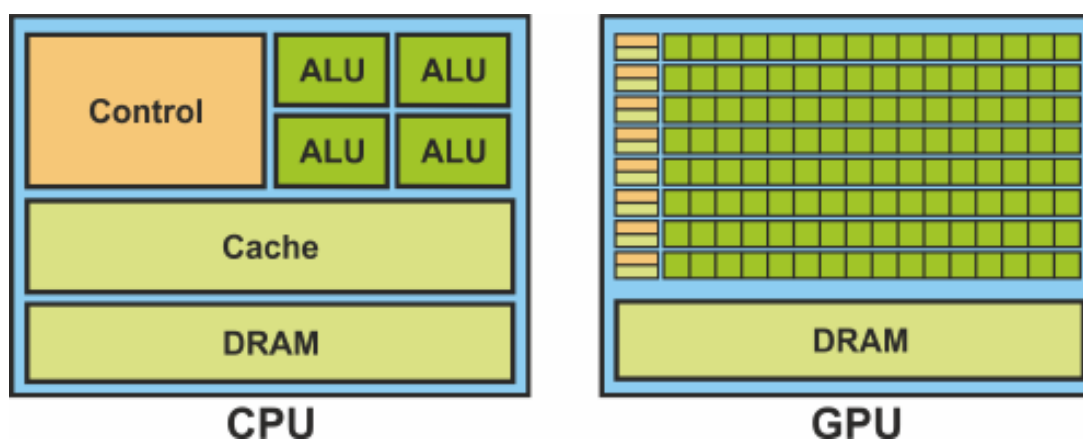
Uz izbornik interaktivnih komandi dostupnih korisnicima, na Slici 10. vidljive su i osnovne informacije o konfiguraciji sustava na kojem je softver pokrenut. Izbornik se sastoji od 10 mogućih izbora, koji se pokreću upisujući redni broj koji se nalazi uz traženi izbor, primjerice, za pokretanje određenog testa u komandnu liniju korisnik upisuje broj „1“.

2.2 Grafička kartica

2.2.1 Opis karakteristika grafičke kartice

GPU, skraćenica „graphics processing unit“ ili grafički procesor je dio računala koji je zadužen za prikaz grafike na računalu. Prije dolaska grafičkih kartica na tržište proces prikaza grafike na računalu, odnosno pretvorba poligonalnih koordinati u bitmape, je bila zadatak procesora. Razvoj grafičkih kartica je poticala industrija video igara te je trend razvoja naprednijih video igara sa naprednijim prikazom grafike praćen izlaskom novih i brzih grafičkih kartica. Upotreba grafičkih kartica nije isključivo za video igre te se današnje grafičke kartice koriste za optimizaciju alata za uređivanje slika i videa, a njihova mogućnost odrađivanja velikog broja operacija sa pomičnim zarezom omogućava znatno ubrzanje u zadacima sa velikim brojem računskih operacija poput simulacija u znanstvene svrhe [11]. Gotovo sve grafičke kartice na današnjem tržištu su dizajnirane od strane kompanija NVIDIA ili AMD, dok manje kompanije uzimaju njihovu izvedbu te ju doraduju u obliku drugačijeg hlađenja i slično.

Grafička kartica za razliku od procesora ima stotine, pa čak i preko tisuću jezgri, što joj omogućuje veći broj računskih operacija istovremeno, korištenjem paralelizma. Slika 11 prikazuje razliku u izvedbi arhitekture procesora i grafičke kartice, vidimo znatno veći broj aritmetičko logičkih jedinica (ALU) te kontrolne jedinice i priručnu memoriju namijenjene za određeni skup aritmetičko logičkih jedinica. Nvidia naziva svoje jezgre „Cuda Cores“ dok AMD koristi naziv „Stream processors“. „Streaming multiprocessors“ je skup koji se sastoji od određenog broja zasebnih jezgri te koristi zasebnu L1 priručnu memoriju i djeljivu L2 priručnu memoriju prije povlačenja podataka iz globalne (GDDR) memorije. Takva arhitektura dozvoljava paralelizam na mnogo većoj razini u usporedbi sa procesorima te nije osjetljiva na latenciju, odnosno zastoje koji se pojavljuju kada se čeka pojava podataka nakon zahtjeva za istim, uz uvjet da grafički procesori imaju dovoljno naredbi za računске operacije.



SLIKA 11 RAZLIKA IZMEĐU CPU I GPU ARHITEKTURE¹⁷

¹⁷ https://www.researchgate.net/figure/Comparison-of-CPU-versus-GPU-architecture_fig2_231167191

Radni takt grafičke kartice označava brzinu, odnosno frekvenciju izvođenja operacija na grafičkom procesoru te se mjeri u megahercima (MHz). Radni takt grafičke kartice nije jedini čimbenik koji određuje performanse grafičkih kartica, no ukoliko su svi ostali parametri isti, poput broja jezgri, radni takt i količina radne memorije grafičke kartice i arhitekture, ona grafička koja ima veći radni takt će imati bolje performanse. „Boost speed“ označava radni takt kojeg grafička kartica može postići u stabilnim uvjetima poput temperature i utroška energije te je vrijednost koju se može smatrati maksimalnim radnim taktom grafičke kartice izuzevši vrijednosti dobivene ručnim upravljanjem napona i ostalih tvorničkih vrijednosti.

Sučelje kojim je grafička kartica spojena na matičnu ploču također diktira performanse, zbog konstantne komunikacije između grafičke kartice sa procesorom. Zadaća sučelja je prijenos podataka između komponenti računala te se njegove performanse mjere u propusnosti podataka („bandwidth“), mjerne jedinice MB/s. Napredak tehnologije doveo je do napretka sučelja te je propusnost podataka postepeno rasla. Danas je najčešće korišteno sučelje naziva PCIe sa raznim iteracijama uvedenim za povećanje performansi sučelja [12]. Tablica 13 prikazuje rast propusnosti PCIe sučelja po verzijama.

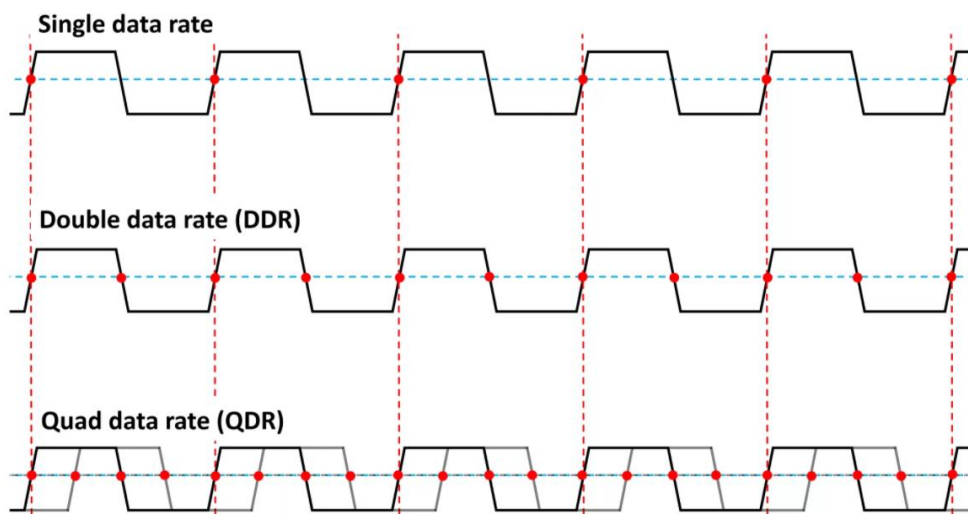
TABLICA 13 UKUPNA PROPUSNOST PCIe SUČELJA PO VERZIJAMA¹⁸

	UKUPNA PROPUSNOST
PCIe 1.x	8GB/s
PCIe 2.x	16GB/s
PCIe 3.x	~32GB/s
PCIe 4.0	~64GB/s
PCIe 5.0	~128GB/s

Još jedan faktor koji omogućuje brže operacije računanja na grafičkim karticama je zasebna radna memorija grafičke kartice, koja se nalazi na samoj komponenti. Takav pristup eliminira potrebu za spremanjem svakog rezultata računskih operacija na radnu memoriju računala prema kojoj je brzina slanja podataka ograničena brzinom prijenosa podataka sabirnice same matične ploče na kojoj se nalaze navedene komponente. Novije grafičke kartice koje su dostupne na tržištu koriste GDDR6 SDRAM memoriju. GDDR6 SDRAM je skraćenica od Graphics Double Data Rate 6 Synchronous Dynamic Random-Access Memory. Double data rate, odnosno dvostruka brzina prijenosa podataka je tip prijenosa podataka koji omogućuju prijenos podataka u češćim intervalima u odnosu na single data rate na način da u toku jednog analognog signala, double data rate prenosi podatke na uzlaznom dijelu signala i silaznom dok

¹⁸ <https://www.extremetech.com/computing/292251-the-pcie-5-0-specification-is-now-available-before-pcie-4-0-has-even-shipped>

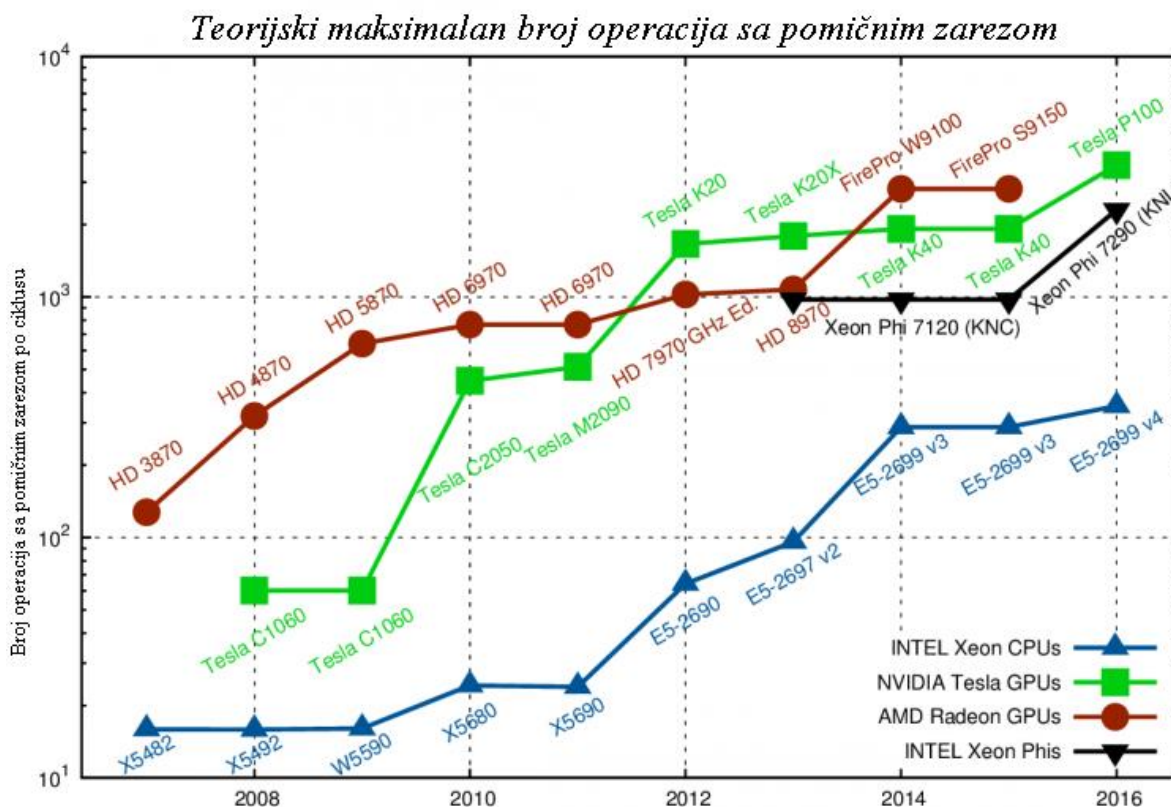
single data rate vrši prijenos samo na uzlanom dijelu signala. Slika 12 grafički prikazuje razlike između SDR i DDR memorije, gdje su intervali označeni crnom linijom, a trenutak prijenosa podataka označen crvenom točkom. Vidimo da je protok podataka dvostruko veći u DDR izvedbi memorije, a samim time i performanse grafičke kartice koja koristi navedenu izvedbu memorije. Koncept vezan uz memoriju grafičke kartice, memorijsko sučelje odnosno „memory interface“ označuje količinu bitova koje sabirnica memorijskog sučelja može prenositi tokom jednog ciklusa, te se mjeri u broju bitova primjerice 192-bitno memorijsko sučelje. . Količina radne memorije grafičke kartice se broji u gigabajtima (GB), a propusnost memorije je definiran memorijsko sučelje, tip memorije i radni takt memorije. Radni takt memorije je brzina , odnosno frekvencija, kojom grafička kartica komunicira sa radnom memorijom te se mjeri u megahercima (MHz).



SLIKA 12 RAZLIKA IZMEĐU SINGLE DATA RATE I DOUBLE DATA RATE MEMORIJE¹⁹

Kada uspoređujemo performanse procesora i grafičke kartice u računanju koristimo usporedbu broja operacija sa pomičnim zarezom po ciklusu zato što usporedba po broju jezgri nije adekvatna, pošto procesori imaju manji broj jezgri većeg radnog takta te se baziraju na sekvencijalnoj obradi i obavljanju više zadatka, dok grafičke kartice imaju znatno veći broj jezgri manjeg radnog takta i koriste mogućnost paralelizma za slične aritmetičke operacije.

¹⁹ <https://www.techspot.com/article/2024-anatomy-ram/>

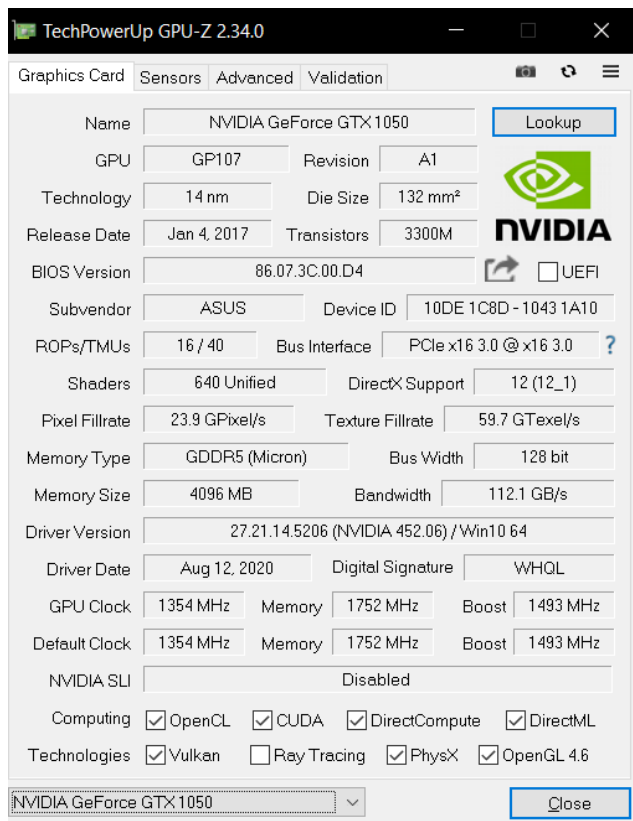


SLIKA 13 USPOREDBA TEORIJSKOG MAKSIMUMA BROJA OPERACIJA SA POMIČNIM ZAREZOM IZMEĐU PROCESORA I GRAFIČKIH KARTICA²⁰

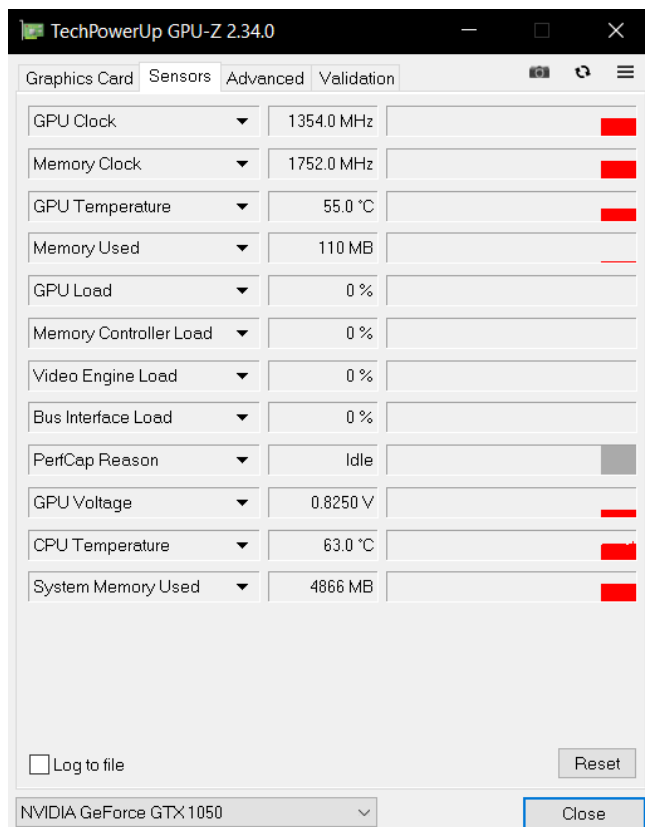
Slika 13 prikazuje usporedbu između Intel Xeon procesora i grafičkih kartica proizvođača AMD i Nvidia te njihov odnos kroz godine, te je jasan razlog korištenja grafičkih kartica u računanju sa pomičnim zarezom, no autor rada daje zanimljivu opasku. Navedeni grafički procesori operacije provode u takozvanom „lock-step“ načinu, primjenom paralelizma na računanje sa istim operacijama, nad serijama procesorskih jedinica nazvanima „warps“ (NVIDIA) ili „wave fronts“ (AMD). Autor, Rupp K. [13] ističe, kako taj princip rada nije isključivo moguć na grafičkim procesorima, te dolaskom AVX („Advanced Vector Extensions“), odnosno set instrukcija za proširenje načina rada sa vektorima, dodatak na arhitekturu mikroprocesora postaje moguće stvoriti slično ponašanje u izvođenju.

Iz navedenog se da zaključiti da grafička kartica ima puno parametara u svojoj specifikaciji, te mogućnost pregleda istih pogodna prilikom mjerenja performansi no ta mogućnost ima značaj i kada želimo provjeriti ispravnost kartice [13]. Postoje različiti programi koji prikazuju karakteristike grafičke kartice na računalu, od kojih su poznatiji GPU-Z čije je sučelje prikazano Slikom 14. gdje osim pregleda tvorničkih vrijednosti grafičke kartice dobivamo uvid u senzore koji prate trenutne vrijednosti, prikazano Slikom 15.

²⁰ <https://www.karlrupp.net/2016/08/flops-per-cycle-for-cpus-gpus-and-xeon-phis/>



SLIKA 14 SUČELJE GPU-Z ALATA



SLIKA 15 PREGLED SENZORA GRAFIČKE KARTICE UNUTAR ALATA CPU-Z

Svaka grafička kartica ima i izlazno video sučelje koje joj omogućava spajanje na monitor i prikaz slike na istom. Danas se najčešće susrećemo sa HDMI i DP izlaznim sučeljima koji omogućavaju spajanje na monitore visoke razlučivosti te spajanje više monitora na jedno računalo i slično. Pošto izlazno sučelje ne diktira performanse grafičke kartice njegova detaljna obrada u smislu teme nije potrebna.

2.2.2 Mjerenje performansi grafičke kartice

Navedene su neke od glavnih upotreba grafičkih kartica, a mjerenje performansi grafičkih kartica će biti ovisno upravo o nekoj od navedenih upotreba. Općenitu kategorizaciju možemo podijeliti na mjerenje performansi u prikazivanju 3d slika i mjerenje performansi grafičkih kartica vezano uz vršenje velikog broja računskih operacija, radnja koju nazivamo „compute“ odnosno računanje, radnju koju grafičke kartice odrađuju vrlo dobro zbog svoje mogućnosti paralelizma.

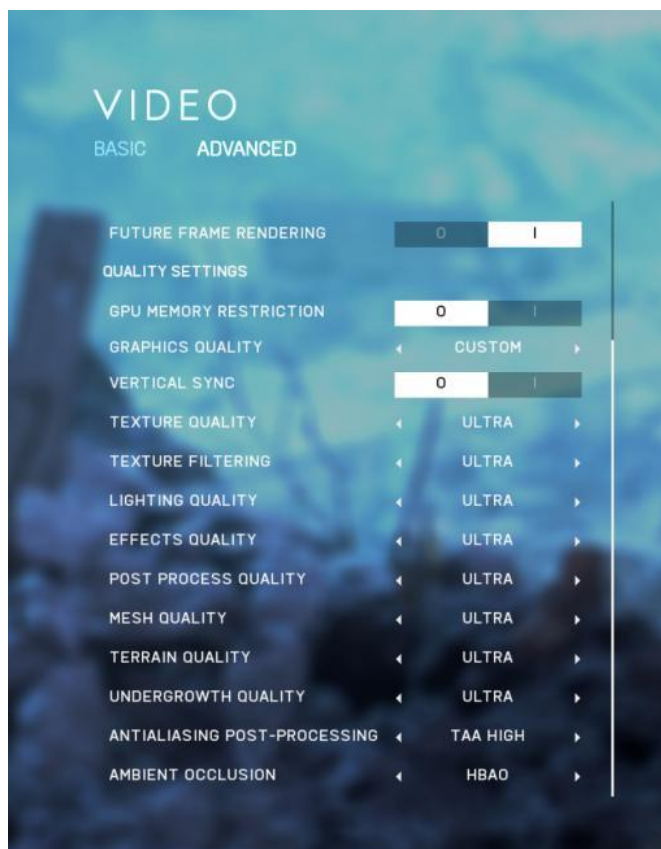
2.2.2.1 Prikaz 3d slika

Mjerenje performansi 3d prikaza grafičkih kartice se može obaviti u raznim alatima, te tu uvodimo još jednu podjelu u mjerenju, posebice zbog veličine tržišta unutar svake podjele.

2.2.2.1.1 PRIKAZ 3D SLIKA U VIDEO IGRAMA

Kada govorimo o grafičkim karticama, teško je preskočiti u potpunosti video igre pošto su one imale znatan utjecaj u potrebi za razvojem naprednije tehnologije za grafičke kartice.

Performanse u video igrama najčešće mjerimo u broju slika u sekundi, odnosno Frames Per Second (FPS). Broj slika u sekundi direktno utječe na iskustvo igranja video igre, pošto male vrijednosti ovog parametra dovode do zastajkivanja u prikazu slike. Neke igrice, posebice one zahtjevnije imaju standardne scene postavljene koje se svaki put isto izvedu te je eliminiran slučaj nasumične smetnje nekontroliranih uvjeta tokom mjerenja, primjerice interakcija nasumičnih entiteta umjetne inteligencije koje grafička kartica mora prikazati na sceni. Danas igre imaju mogućnost podešavanja razine kvalitete i glatkoće slika i scena koje se prikazuju, te ti parametri znatno utječu na performanse i u konačnici rezultat mjerenja.



SLIKA 16 PRIMJER GRAFIČKIH POSTAVKI VIDEO IGRE BATTLEFIELD 5

Pošto ima dosta parametara koji utječu na kvalitetu prikazane slike te neke znatno utječu na mjerenje performansi dok neke manje, opisati ćemo one koje znatno utječu na performanse grafičkih kartica.

Prvi parametar s kojim se susrećemo je razlučivost slike, mjerena i pikselima, te je jedan od glavnih utjecaja na mjerenje performansi. Veća rezolucija znači da grafička kartica mora obraditi i prikazati više piksela, što dovodi do „čišće“ slike, odnosno slike bolje kvalitete, no dovodi povećanjem ove vrijednosti dolazimo do smanjenja broja slika u sekundi (FPS).

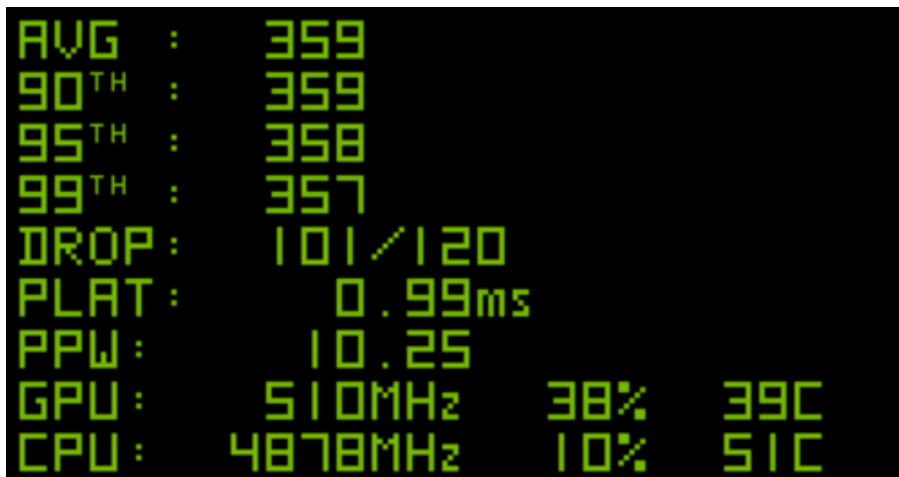
Texture quality, odnosno kvaliteta tekstura prikazanih u scenu se odnosi na razlučivost teksturi koje grafička kartica mora obraditi. Ovaj parametar značajno utječe na rezultate mjerenja pošto direktno utječemo na obim „posla“ ili rada kojeg grafička kartica mora, zbog dinamičnosti gotovo svih video igara odraditi u stvarnom vremenu. Povećanjem ovog parametra možemo očekivati smanjenje broja slika u sekundi (FPS).

Texture filtering odnosno zaglađivanje tekstura prikazanih najčešće ne utječe na performanse kada su vrijednost ovog parametra postavljene nisko. Povećanjem dolazimo do znatnog utjecaja na performanse zbog novih tehnologija koje dinamički uvećaju rezoluciju teksture a zatim raznim algoritmima pokušavaju vratiti rezoluciju na izvornu dok zadržavaju dio kvalitete dobivene povećanjem rezolucije, ta tehnika je poznata kao „upscaling“ i „downscaling“.

Kvaliteta generiranog osvjetljenja, kvaliteta efekata, kvaliteta terena i svi ostali parametri koji mijenjaju kvalitetu najčešće utječu na mjerenje performansi ali u manjoj količini u usporedbi sa kvalitetom tekstura prethodno opisano.

Za mjerenje performansi u video igrama koje nemaju navedeni princip mjerenja u izoliranim scenama koje se samostalno provode bez utjecaja korisnika i okolnih faktora unutar igre tokom mjerenja postoje razni alati koji se povezuju na proces igre, odnosno „engine“ koji pogoni igru. Takvi alati danas postoje u raznim izvedbama no gotovo svi funkcioniraju na isti princip. Kao primjer koristimo alat kompanije NVIDIA , naziva FrameView.

FrameView je alat koji može mjeriti performanse u svim poznatim igrama zbog podrške za sve verzije DirectX, OpenGL i Vulkan pogonske sklopove , odnosno svaki „engine“ na kojem su igrice izrađene.



SLIKA 17 FRAMEVIEW PRIKAZ UNUTAR IGRE²¹

Slika 17 prikazuje vrijednosti koje FrameView [14] mjeri unutar igre te ih prikazuje na način da prekrije igru u jednom od postavljenih dijelova ekrana da ne stvara smetnju.

Prvi parametar mjerenja, pod oznakom AVG je prosječan broj slika u sekundi dobiven zbrajanjem slika u sekundi u svakom trenutku mjerenja te dijeljenjem te vrijednosti sa brojem sekundi provedenim u mjerenju.

Slijedeće tri vrijednosti se odnose na percentil broja slika u sekundi, te korisniku daju informaciju o glatkoći izvođenja igre. Ukoliko su vrijednosti blizu prosječne, posebice vrijednost „99th“odnosno 99. percentil, videoigra ima glatku izvedbu bez zastajkivanja.

PLAT označava trenutnu latenciju („Present Latency“), odnosno razliku vremena od trenutka kad je predan zahtjev za obradu slike na niti grafičkog procesora i trenutka kad je obrada izvršena.

Vrijednost PPW , odnosno „Performance Per Watt“ je odnos utroška energije i dobivenih performansi u obliku slika po sekundi. Manjim utroškom energije se generira manja temperatura što održava stabilnost grafičke kartice.

Zadnja dva reda vrijednosti prikazuju općenito stanje grafičke kartice (GPU) i procesora (CPU). U megahercima (MHz) su označeni radni taktovi komponenti, postotne vrijednosti

²¹ www.nvidia.com/en-us/geforce/news/nvidia-frameview-power-and-performance-benchmarking-app-download/

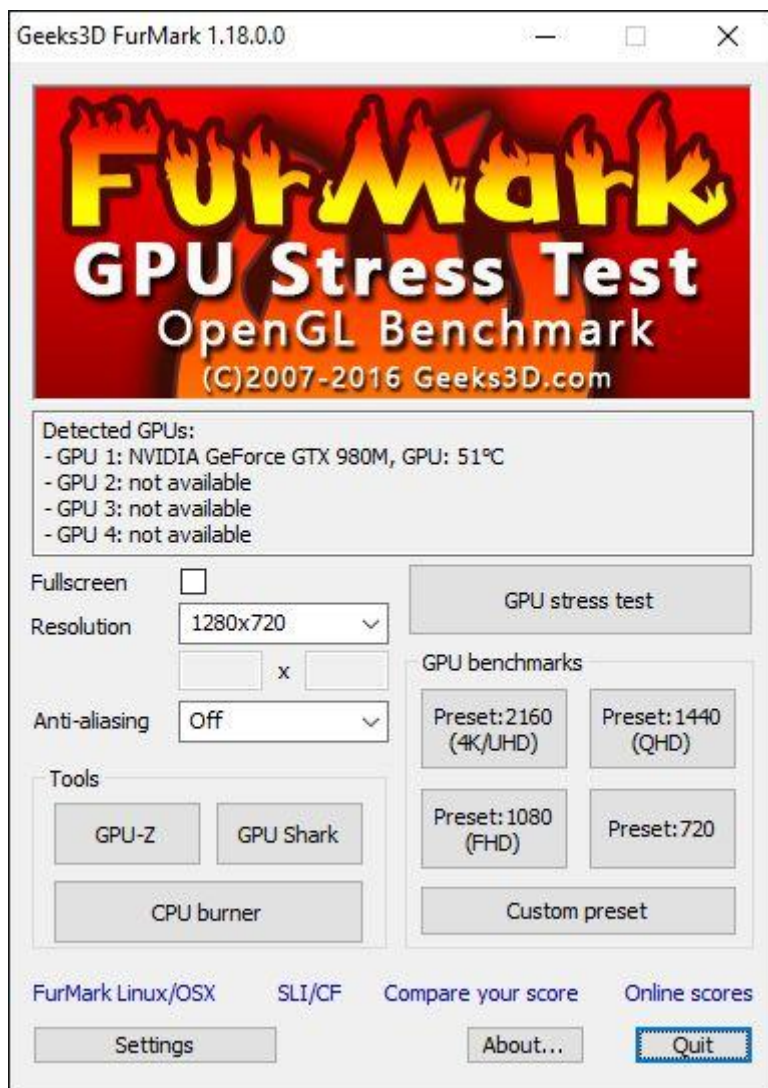
prikazuju postotak jezgri koje su trenutno iskorištene za obradu, te stupnjevi označuju temperaturu komponente. Sve od navedenih vrijednosti nam mogu otkriti razlog smanjenja performansi, posebice temperatura i postotak iskorištenosti jezgri. Utjecaj temperature na performanse je obrađen u poglavlju procesora, a nepovoljna iskorištenost jezgri može stvoriti usko grlo, odnosno „bottleneck“ kada su jezgre jedne komponente potpuno iskorištene dok druga komponenta nema veliku iskorištenost jezgri, te na taj način mjerenje performansi druge komponente postane limitirano prvom.

2.2.2.1.2 OBRADA I PRIKAZ 3D SLIKA U SPECIJALIZIRANIM ALATIMA

Pošto video igre nisu jedini način korištenja grafičkih kartica za prikaz i obradu slika, postoje drugi alati koji mjere iste karakteristike sa puno manjim zauzećem pohrane, pošto današnje video igre premašuju 60GB, dok neke čak i 100GB pohrane pa korištenje video igara za mjerenje performansi 3d prikaza i obrade postaje nepraktično.

FurMark i 3dMark su alati koji se koriste kao standard u mjerenju performansi grafičkih kartica, posebice kad nam je namjera testiranje stabilnosti grafičkih kartica pod znatnim opterećenjem.

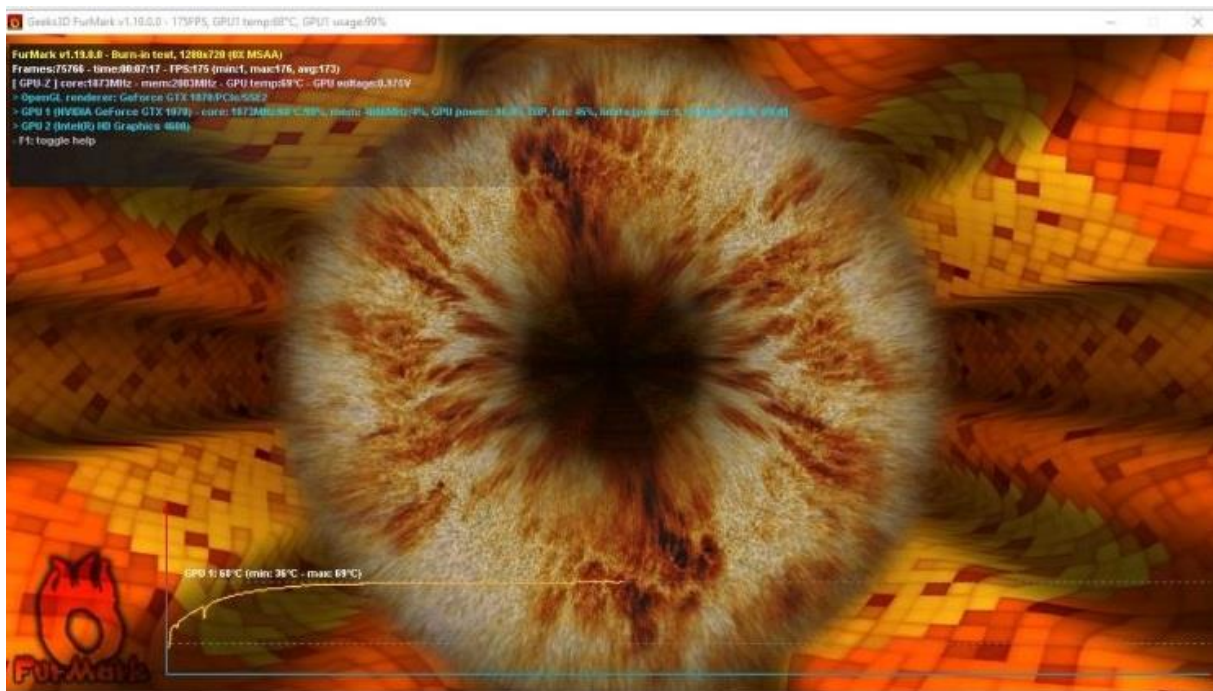
FurMark je jedan od najboljih besplatnih alata za mjerenje performansi računala zbog mogućnosti da potpuno optereti grafičku karticu.



SLIKA 18 FURMARK SUČELJE²²

Slika 18 prikazuje sučelje FurMark alata, te vidimo mogućnost promjene rezolucije izvođenja mjerenja, prilagodbu zaglađivanja odnosno anti-aliasing, te razne konfiguracije koje diktiraju kvalitetu generiranja u pokrenutom testu, nazvane „preset“, te mogućnost stvaranja svoje konfiguracije.

²² <https://geeks3d.com/furmark/gallery/>



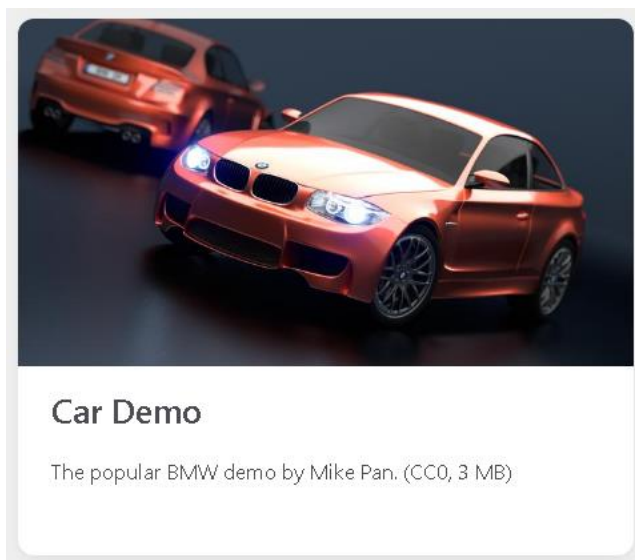
SLIKA 19 FURMARK ALAT U TOKOM TESTIRANJA STABILNOSTI I PERFORMANSI GRAFIČKE KARTICE²³

Na Slici 19. je prikazan FurMark alat tokom izvođenja mjerenja performansi i stabilnosti grafičkog procesora. Vidljive su već poznate vrijednost poput slika u sekundi (FPS) te minimalne i maksimalne temperature i radnog takte jezgri i memorije grafičke kartice. Također, u dnu nam je grafički prikazan odnos temperature i vremena izvođenja programa.

Još jedan često korišten alat u mjerenju performansi obrade 3d slika je Blender, alat primarno dizajniran za kreiranje 3d animacija, 3d modela i interaktivnih 3d aplikacija. Zbog svojih funkcionalnosti kao što su primjena tekstura, simulacija dima i ostalih čestica te projekcija 2d slika na 3d modele, te mogućnost odabira komponente odnosno procesora na kojoj se obrada izvodi, Blender alat često koristimo za mjerenje vremena potrebnog za obradu 3d grafike.

Jedan od poznatih testova je takozvani „Car demo“ odnosno obrada automobila marke BMW koja uključuje teksture, oblike, boje, refleksije i razne izvore osvjetljenja čiji je autor Mike Pan. Za pokretanje testa potrebno je preuzeti datoteku prikazanu na Slici 20. te ju pokrenuti alatom Blender.

²³ <https://geeks3d.com/furmark/gallery/>



Car Demo

The popular BMW demo by Mike Pan. (CC0, 3 MB)

SLIKA 20 CAR DEMO BLENDER TEST²⁴



SLIKA 21 REZULTATI CAR DEMO BLENDER TESTA

Rezultati mojeg testiranja prikazani su Slikom 21. , gdje je vidljivo konačno vrijeme potrebno za obradu navedenog testa od 5 minuta i 26 sekundi na NVIDIA GeForce GTX 1050 grafičkoj kartici.

²⁴ <https://www.blender.org/download/demo-files/>

2.2.2.2 Izvršavanje računskih operacija

U mjerenju performansi računskih operacija možemo se poslužiti prethodno opisanim Phoronix alatom za provođenje testova. Razni testovi su dostupni unutar alata, a u okviru ovog poglavlja koristiti ćemo testove koji se nalaze unutar paketa testova NVIDIA GPU Compute paketa, izuzevši Blender test koji je opisan u prethodnom poglavlju.

Popis svih testova unutar NVIDIA GPU Compute paketa je prikazan Slikom 22.

FAHBench
GROMACS
NAMD CUDA
Mixbench
OctaneBench
LuxCoreRender OpenCL
Rodinia
ArrayFire
clpeak
NeatBench
FinanceBench
PlaidML
LeelaChessZero
cl-mem
MandelGPU
ViennaCL
RedShift Demo
Blender

SLIKA 22 POPIS TESTOVA UNUTAR NVIDIA GPU COMPUTE PAKETA²⁵

Opisati ćemo nekolicinu kako bi dobili razumijevanje o metodama mjerenja.

FAHBench je test izveden po modelu na poznati Folding@Home projekt, distribuirani računski projekt koji koristi računala volontera diljem svijeta čiji je cilj pomoći znanstvenicima u razvoju novih lijekova za razne medicinske namjene. Računanje se provodi nad simulacijama dinamike proteina, na način da se klijentu odnosno računalu koje je volontirano u projekt dostavi niz podataka nad kojima treba provesti računске operacije čiji se rezultati šalju nazad na servere Folding@Home projekta gdje se oni prenose u sveukupnu simulaciju. FAHBench je odrađuje dio računskih operacija koje se odrađuju na Folding@Home superračunalu. Folding@Home je jedno od najbržih superračunala zbog količine volontera koji su se pridružili projektu. Slika 23 prikazuje trenutne specifikacije Folding@Home superračunala te vidimo

²⁵ <https://openbenchmarking.org/suite/pts/nvidia-gpu-compute>

podjelu po različitim operativnim sustavima te ukupnu sumu grafičkih kartica i jezgri procesora uključenih u projekt. Također je prikazan izuzetno veliki broj trilijuna operacija sa pomičnim zarezom u sekundi (TFLOPS).

OS	AMD GPUs	NVidia GPUs	CPUs	CPU jezgre	TFLOPS	x86 TFLOPS
Linux	7,618	967,407	1,799,845	15,794,237	1,843,177	3,650,674
Windows	25,558	92,555	230,804	1,523,863	210,576	422,834
macOSX	0	0	34,927	145,043	1,624	1,624
Totals	33,176	1,059,962	2,065,576	17,463,143	2,055,377	4,075,132

SLIKA 23 SPECIFIKACIJE FOLDING@HOME SUPERRAČUNALA NA DAN 17.9.2020²⁶

GROMACS je test koji izvodi simulacije nad molekularnim dinamikama, primjerice simulacija Newtonovih jednadžbi za sustavi sa stotinama milijuna čestica. Najčešće se rade simulacije na proteinima, lipidima i nukleinskim kiselinama koje imaju veoma složene međusobne interakcije no algoritam koji provodi simulacije je veoma dobro optimiziran.

Ubrzanje pomoću grafičkog procesora je poboljšane u odnosu na prethodne verzije te su dizajnirani novi algoritmi koji puno bolje iskorištavaju paralelizam dobiven korištenjem grafičkih kartica.

Rodinia je set alata kojeg je stvorilo University of Virginia koji se fokusira na ubrzanje računskih operacija na računalu korištenjem grafičke kartice.

LeelaChessZero je automatizacija šaha pogonjena neuralnim mrežama koja također iskorištava mogućnosti paralelizma na grafičkim karticama.

U Tablici 14. vidimo najbolje rezultate mjerenja u alatu LeelaChessZero, dok

Tablica 15 prikazuje moje rezultate mjerenja u navedenom programu.

TABLICA 14 NAJBOLJI REZULTATI LEELACHESSZERO ALATA²⁷

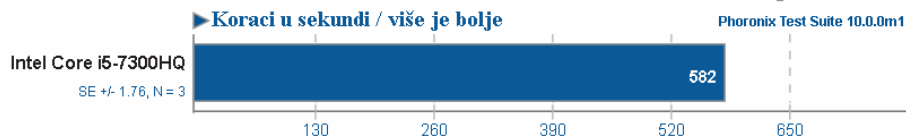
Komponenta	Percentil	Broj koraka po sekundi
AMD EPYC 7F72 24-Core	99th	2105
AMD EPYC 7702 64-Core	98th	1296
AMD Ryzen Threadripper 3970X 32-Core	91st	1201
AMD Ryzen Threadripper 3960X 24-Core	83rd	994
Intel Core i9-9900KS	78th	986

²⁶ www.stats.foldingathome.org/os

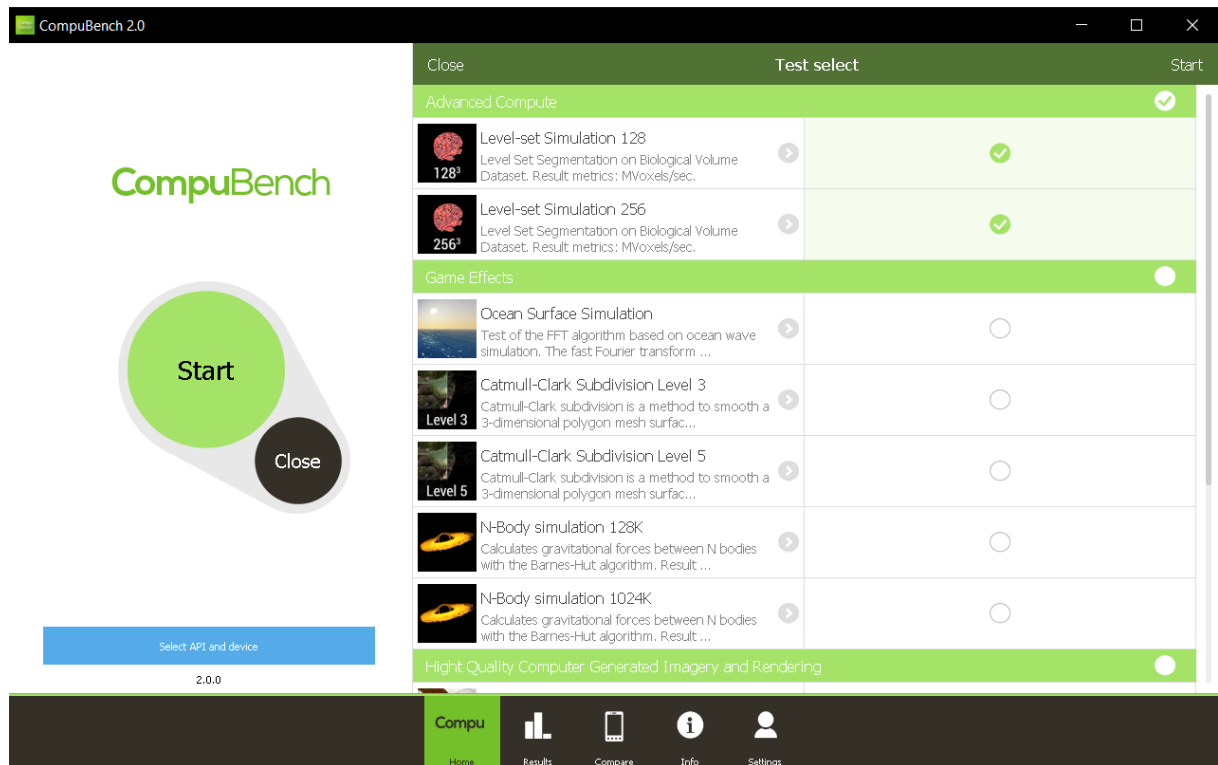
²⁷ <https://openbenchmarking.org/test/pts/lczero-1.5.0>

TABLICA 15 REZULTATI MOJEG MJERENJA ALATOM LEELACHESSZERO

LeelaChessZero v0.26
Backend: BLAS



Za mjerenje izričito performansi u računskim operacijama grafičke kartice pomoću CUDA arhitekture možemo koristiti CompuBench, alat koji nudi testiranje različitih računskih operacija na grafičkoj kartici, prikazano Slika 24. Također vidimo da su testovi podijeljeni kako bi se vidjele distinktno razlike u performansama grafičke kartice za različite testove.



SLIKA 24 KORISNIČKO SUČELJE COMPUBENCH ALATA

2.3 Pohrana

2.3.1 Tvrđi disk (Hard Disk Drive – HDD)

Kada govorimo o pohrani u računalu mislimo primarno na HDD (Hard disk drive) i SSD (Solid state drive) oblike pohrane podataka u računalu.

HDD je starija tehnologija koja koristi rotirajuće magnetske ploče za pohranu podataka te niz takozvanih glava koje vrše operacije čitanja i brisanja podataka pomoću pomičnih mehaničkih ruku. Bitna karakteristika i razlog korištenja tvrdih diskova za pohranu podataka u računalu je njihova mogućnost zadržavanja podataka nakon gubitka napajanja. Dva čimbenika utječu na zastoje u radu hard diska, brzina pomaka glave na ispravno mjesto koju nazivamo „seek time“ odnosno vrijeme traženja, te vrijeme koje glava čeka da se ispravni dio magnetske ploče rotira na potrebno mjesto koje nazivamo „rotational latency“ odnosno rotacijska latencija. S tim čimbenicima na umu, kada govorimo o tvrdom disku (HDD) koristimo termine prosječnog vremena traženja i prosječne latencije odnosno zastoja [15]. Brzina rotacije magnetne ploče hard diska je mjereno u RPM odnosno rotacijama po minuti (Rotations Per Minute) te su najčešće brzine 5400 RPM i 7200 RPM no one mogu dosezati i to 15000 RPM. Veza između broja okretaja magnetne ploče u minuti i rotacijske latencije prikazana je Tablicom 16.

TABLICA 16 ODNOS BROJA ROTACIJA PO MINUTI I ROTACIJSKE LATENCIJE TVRDOG DISKA²⁸

Broj rotacija po minuti (RPM)	Prosječna rotacijska latencija (ms)
4,200	7.14
5,400	5.56
7,200	4.17
10,000	3.00
15,000	2.00

Brzina prijenosa podataka označuje unutarnju brzinu prijenosa, odnosno prijenos podataka sa magnetne ploče na upravljački dio tvrdog diska te vanjsku brzinu, odnosno prijenos podataka sa upravljačkog dijela na računalo. Sučelje kojim je tvrdi disk povezan sa ostatkom računala nema znatnog utjecaja na brzinu prijenosa podataka, primjerice SATA ima brzinu prijenosa podataka 3Gbit/s (gigabita po sekundi) sa međumemorije tvrdog diska na računalo, dok je brzina prijenosa podataka sa magnetne ploče na međumemoriju tvrdog diska sa 7200 rotacija po minuti oko 1000Mbit/s.

Utjecaj na performanse tvrdog diska može imati datotečni sustav, odnosno fragmentacija podataka u sustavu. Fragmentacija je tendencija datotečnog sustava da podatke ne pohranjuje u kontinuiranom načinu, što utječe na brzinu pronalaska datoteke. Rješenje za to

²⁸ https://en.wikipedia.org/wiki/Hard_disk_drive

je defragmentacija podataka, odnosno premještanje međusobno povezanih podataka na fizički blisko mjesto na tvrdom disku, te je automatizirano na određenim operativnim sustavima.

2.3.2 Solid state disk (SSD)

SSD ili „Solid State Drive“ je novija i znatno brža tehnologija za trajnu pohranu podataka na računalu koja pohranjuje podatke pomoću „Flash“ memorije, oblika memorije koji ne zahtjeva korištenje pomičnih dijelova već zapis i brisanje podataka vrši električnim impulsom.

Na taj način SSD nema rotacijske latencije i vrijeme traženja koje usporavaju rad, već svakom dijelu pohrane pristupaju istovremeno. Brzine čitanja i pisanja su asimetrične, te je čitanje iznimno brzo dok je pisanje nešto sporije. Razlog tomu je organizacija podataka, NAND ćelija koja može pohraniti jedan ili nekoliko bitova podataka se grupiraju u takozvane stranice, a stranice se grupiraju u blokove.

Problem kod upisivanja nastaje zbog nemogućnosti pisanja podataka u NAND ćeliju dok ona nije prazna, a brisanje se može izvršiti samo na razini blokova. To znači da brisanje jedne ćelije zahtjeva kopiranje svih stranica na mjesto gdje će biti zaštićene od brisanja, brisanje bloka u kojem su se nalazile te ponovno zapisivanje željenih podataka u prazne blokove.

Nova tehnologija solid state diska, zvana „NVME“ omogućuje znatno veće brzine ugradnjom solid state diska pomoću PCIe sučelja na matičnu ploču. Na taj način ograničenje koje stvara SATA III sučelje od 600MB/s je zamijenjeno brzinama od 3500MB/s što direktno utječe na brzine pisanja i čitanja solid state diska.

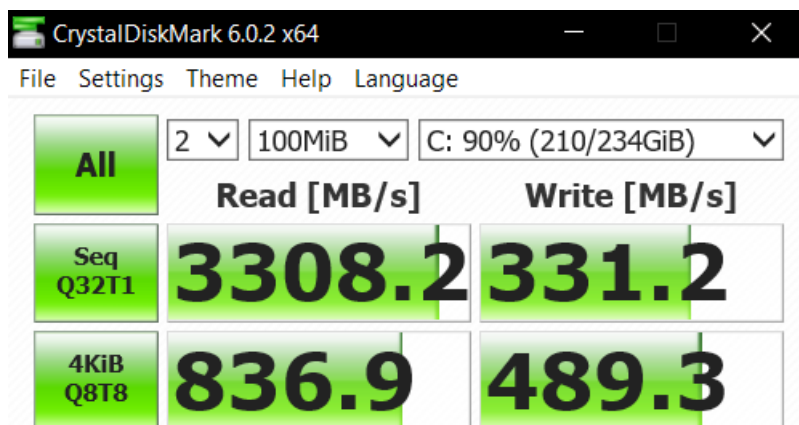
2.3.3 Usporedba između tvrdog diska i solid state diska

Unatoč tome, brzina solid state diska je znatno veća od one tvrdog diska, primjerice jedan hard disk relativno dobrih performansi ima brzinu sekvencijalnog pisanja i čitanja od 125 Mbps (megabita po sekundi) dok standardni solid state disk ima sekvencijalnu brzinu čitanja podataka od oko 550 Mbps i pisanja od oko 520Mbps. Sekvencijalna brzina čitanja i pisanja označuje brzinu čitanja i pisanja velikih datoteka, drugi oblik brzine čitanja i pisanja podataka sa pohrane koji se najčešće koristi je nasumična brzina čitanja i pisanja podataka odnosno „random read/write speed“. Nasumična brzina čitanja i pisanja podataka je manja, pošto u slučaju tvrdog diska vrijeme traženja ili „seek time“ najviše utječe na brzinu čitanja ili pisanja.

IOPS ili input output operations per second, odnosno broj ulazno izlaznih operacija u sekundi označava zbroj zasebnih operacija čitanja i pisanja u sekundi, te nam ne predstavlja definitivni način usporedbe performansi dva medija za pohranu, no množenjem broja IOPS sa veličinom podataka nad kojom vršimo operacije čitanja i brisanja nam daje propusnost podataka, mjereno u MB/s (megabajti po sekundi).

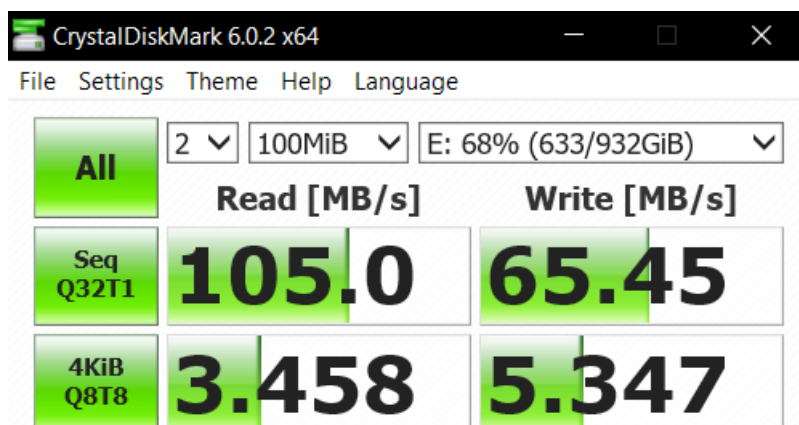
2.3.4 Mjerenje performansi medija za pohranu

Za mjerenje performansi medija za pohranu koristimo alat CrystalMark zbog jednostavnosti provođenja mjerenja i lako razumljivog prikaza rezultata u sučelju. Napravljena je usporedba dva medija za pohranu na istom računalu, jedan od kojih je tvrdi disk sa marke Seagate 5200 RPM te solid state disk marke Adata koji koristi noviju NVME tehnologiju te je spojen putem PCIe sučelja na računalo.



SLIKA 25 REZULTATI CRYSTALMARK TESTA ZA ADATA M.2 NVME SSD

Korisničko sučelje CrystalMark alata je jednostavno, kao što se vidi na Slici 25. , zajedno sa rezultatima mjerenja. Korisniku alata ima mogućnost izmjene broja testiranja (brojka „2“ na slici), veličine podataka sa kojima se vrši testiranje te disk kojem se mjere brzine pisanja i čitanja podataka. Rezultati se mjere u MB/s (megabajti u sekundi) te prvi red, oznake „Seq“ pokazuje brzinu sekvencijskog čitanja za koju je rezultat 3308.2 MB/s te brzinu sekvencijskog pisanja čiji je rezultat 331.2 MB/s. Drugi red označava brzinu nasumičnog čitanja i pisanja, rezultati prikazani su 836.9 MB/s za brzinu nasumičnog čitanja te 489.3 MB/s za brzinu nasumičnog pisanja.



SLIKA 26 REZULTATI CRYSTALMARK TESTA ZA SEAGATE 5400 RPM HDD

U usporedbi rezultata performansi mjerenja brzine tvrdog diska sa Slike 26 vidimo veliku razliku između performansi, koje su pokazatelj znatnog poboljšanja performansi u čitanju i pisanju u slučaju solid state diska u usporedbi sa tvrdim diskom.

Treba napomenuti, navedene brzine sekvencijskog čitanja i pisanja su rijetko dostupne u praksi, isključivši prijenose organiziranog skupa velike količine podataka, no je primjerice operativni sustav instaliran na solid state disk, paljenje računala će biti znatno brže.

3 Zaključak

Zamisao ovog rada je bila proučiti glavne komponente koje utječu na performanse računala i načine evaluacije njihovih performansi. S namjerom da rad bude razumljiv svima koji ga čitaju, teme su obrađene od općenitih faktora koji utječu na performanse, poput arhitekture, do novijih tehnologija i optimizacije koje su one donijele. Dolazimo do zaključka da mjerenje performansi bilo koje komponente nije jednostavno zbog različitih primjena komponenti i tehnologija koje su dostupne danas, te je precizno mjerenje zasebnih operacija na računalu i načina korištenja način za dobivanje uvida u mogućnosti i performanse komponente u svim funkcijama.

Daljnja obrada i istraživanje na temu mjerenja performansi računala bi tekla u smjeru dubljeg ulaska u arhitekturu komponenti na hardverskoj razini, no i istraživanje utjecaja softvera na performanse, primjerice instrukcija strojnog jezika na temu procesora i detaljni opis CUDA tehnologije s kojom se susrećemo na grafičkim karticama marke NVIDIA. Jedna od tema koju smatram da bi bilo interesantno obraditi u daljnjem istraživanju ove teme je izrada vlastitog alata za mjerenje performansi te usporedba različitih razina optimizacije njihovog utjecaja na performanse.

Također, u radu su spomenuti i objašnjeni projekti poput Folding@Home projekta za kojeg smatram da je dobar primjer kako tehnologija i njen napredak u smislu performansi, ujedinjen sa velikom zajednicom ljudi koji žele pomoći u području znanosti i medicine može dovesti do velikog projekta koji će biti od velike pomoći svima. U okviru grafičkih kartica smatram da bi bilo zanimljivo detaljnije objasniti nove tehnologije poput RTX tehnologije kompanije NVIDIA te mogućnosti i isplativost u takozvanom „kopanju kriptovaluta“, trendu koji je u jednom trenutku bio toliko poznat da su proizvođači komponenti imali problema sa održavanjem inventara, posebice proizvođači grafičkih kartica.

4 Prilozi

Slika 1 Mooreov zakon	7
Slika 2 Rast performansi jednojezgrene izvedbe operacija sa pomičnim zarezom	8
Slika 3 Porast radnog takta procesora kroz godine	9
Slika 4 Radni takt u odnosu na temperaturu procesora	10
Slika 5 Brzina pretvorbe u strojni jezik Clang i GCC.....	11
Slika 6 Usporedba Clang i GCC kompajlera u SPECint Speed na različitim razinama optimizacije	12
Slika 7 Podjela i opis područja mjerenja SPEC 2017 paketa	14
Slika 8 Sučelje Super Pi programa	15
Slika 9 Sučelje wPrime alata	16
Slika 10 Phoronix Test Suite u obliku interaktivne komandne linije.....	21
Slika 11 Razlika između CPU i GPU arhitekture	22
Slika 12 Razlika između Single Data Rate i Double Data Rate memorije.....	24
Slika 13 Usporedba teorijskog maksimuma broja operacija sa pomičnim zarezom između procesora i grafičkih kartica	25
Slika 14 Sučelje GPU-Z alata.....	26
Slika 15 Pregled senzora grafičke kartice unutar alata CPU-Z.....	26
Slika 16 Primjer grafičkih postavki video igre Battlefield 5.....	28
Slika 17 FrameView prikaz unutar igre	29
Slika 18 FurMark sučelje	31
Slika 19 FurMark alat u tokom testiranja stabilnosti i performansi grafičke kartice	32
Slika 20 Car demo Blender test.....	33
Slika 21 Rezultati Car Demo Blender testa.....	33
Slika 22 Popis testova unutar NVIDIA GPU Compute paketa	34
Slika 23 Specifikacije Folding@Home superračunala na dan 17.9.2020	35
Slika 24 Korisničko sučelje CompuBench alata	36
Slika 25 Rezultati CrystalMark testa za Adata m.2 NVME SSD	39
Slika 26 Rezultati CrystalMark testa za Seagate 5400 RPM HDD.....	39
Tablica 1 Prikaz odnosa priručne memorije i radnog takta procesora	9
Tablica 2 wPrime 32m – Grupirano po broju jezgri koje se koriste	17
Tablica 3 wPrime 32M rezultati jednojezgrenih procesora.....	17
Tablica 4 Najbolji rezultati Apache benchmarka	18
Tablica 5 Najbolji rezultati Timed Linux Kernel Compilation benchmarka	18
Tablica 6 Najbolji rezultati LAME MP3 Encoding benchmarka.....	18
Tablica 7 Najbolji rezultati C-Ray benchmarka.....	19
Tablica 8 Najbolji rezultati John The Ripper benchmarka.....	19
Tablica 9 Rezultati mojeg računala u Apache benchmarku	19
Tablica 10 Rezultati mojeg računala u Lame MP3 Encoding benchmarku	20

Tablica 11 Rezultati mojeg računala u C-Ray benchmarku.....	20
Tablica 12 Rezultati mojeg računala u John The Ripper benchmarku koristeći Blowfish i MD5 enkripciju	20
Tablica 13 Ukupna propusnost PCIe sučelja po verzijama.....	23
Tablica 14 Najbolji rezultati LeelaChessZero alata	35
Tablica 15 Rezultati mojeg mjerenja alatom LeelaChessZero.....	36
Tablica 16 Odnos broja rotacija po minuti i rotacijske latencije tvrdog diska.....	37

5 Literatura

- [1] Gennadiy Shvets, [Mrežno]. Available: http://www.cpu-world.com/Glossary/C/CPU_Frequency.html.
- [2] J. Desjardins. [Mrežno]. Available: <https://www.visualcapitalist.com/visualizing-moores-law-in-action-1971-2019/>.
- [3] J. Preshing. [Mrežno]. Available: <https://preshing.com/20120208/a-look-back-at-single-threaded-cpu-performance/>.
- [4] J. S. B. I. R. H. S. R. O. S. A. S. Omid Azizi. [Mrežno]. Available: <https://queue.acm.org/detail.cfm?id=2181798>.
- [5] M. Bach. [Mrežno]. Available: <https://www.pugetsystems.com/labs/articles/Impact-of-Temperature-on-Intel-CPU-Performance-606/>.
- [6] Alibaba Tech, [Mrežno]. Available: https://medium.com/@alitech_2017/gcc-vs-clang-llvm-an-in-depth-comparison-of-c-c-compilers-899ede2be378.
- [7] Standard Performance Evaluation Corporation, [Mrežno]. Available: <https://www.spec.org/cpu2017/Docs/index.html>.
- [8] wPrime Systems, [Mrežno]. Available: <http://www.superpi.net/About/>.
- [9] COLARDYN IT GCV, [Mrežno]. Available: <https://hwbot.org/>.
- [10] Phoronix Media, [Mrežno]. Available: <https://www.phoronix-test-suite.com/>.
- [11] T. S. F. F. C. S. H. ., R. Ari Harju, »Computational Physics on Graphics Processing«.
- [12] B. Daniel. [Mrežno]. Available: <https://www.trentonsystems.com/blog/pcie-gen4-vs-gen3-slots-speeds>.
- [13] K. Rupp, »Karl Rupp,« [Mrežno]. Available: <https://www.karlrupp.net/2016/08/flops-per-cycle-for-cpus-gpus-and-xeon-phis/>.
- [14] A. Burnes. [Mrežno]. Available: <https://www.nvidia.com/en-us/geforce/news/nvidia-frameview-power-and-performance-benchmarking-app-download/>.
- [15] R. H. Arpaci-Dusseau i A. C. Arpaci-Dusseau, »Chapter: Hard Disk Drives,« u *Operating Systems: Three Easy Pieces*, 2004.