Moore-ov zakon granice postojećih tehnoloških rješenja i nove računalne arhitekture

Iljić, Luka

Undergraduate thesis / Završni rad

2020

Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj: **Josip Juraj Strossmayer University of Osijek, Faculty of Economics in Osijek / Sveučilište Josipa Jurja Strossmayera u Osijeku, Ekonomski fakultet u Osijeku**

Permanent link / Trajna poveznica: https://urn.nsk.hr/urn:nbn:hr:145:237015

Rights / Prava: In copyright / Zaštićeno autorskim pravom.

Download date / Datum preuzimanja: **2024-03-28**

EFOS Ekonomski fakultet u Osijeku

Repository / Repozitorij:

EFOS REPOSITORY - Repository of the Faculty of Economics in Osijek

zir.nsk.hr

SVEUČILIŠTE JOSIPA JURJA STROSSMAYERA U OSIJEKU

dabar DIGITALNI AKADEMSKI ARHIVI I REPOZITORIJI

Sveučilište Josipa Jurja Strossmayera
Ekonomski fakultet u Osijeku

Luka Iljić

MOORE-OV ZAKON- GRANICE POSTOJEĆIH TEHNOLOŠKIH RJEŠENJA I NOVE RAČUNALNE ARHITEKTURE

Završni rad iz predmeta Informatika

Osijek, 2020.

Sveučilište Josipa Jurja Strossmayera
Ekonomski fakultet u Osijeku

Luka Iljić

MOORE-OV ZAKON- GRANICE POSTOJEĆIH TEHNOLOŠKIH RJEŠENJA I NOVE RAČUNALNE ARHITEKTURE

Završni rad iz predmeta Informatika

Kolegij: Informatika
JMBAG: 0010210776
e-mail: itzluka@gmail.com
Mentor: prof. Dr. sc. Josip Mesarić

Osijek, 2020.

Josip Juraj Strossmayer University of Osijek
Faculty of Economics in Osijek

Luka Iljić

MOORE LAW- BORDERS OF EXISTING TECHNOLOGICAL SOLUTIONS AND NEW COMPUTER ARCHITECTURE

Final paper

Osijek, 2020.

IZJAVA O AKADEMSKOJ ČESTITOSTI, PRAVU PRIJENOSA INTELEKTUALNOG VLASNIŠTVA, SUGLASNOSTI ZA OBJAVU U INSTITUCIJSKIM REPOZITORIJIMA I ISTOVJETNOSTI DIGITALNE I TISKANE VERZIJE RADA

1. Kojom izjavljujem i svojim potpisom potvrđujem da je ZAVRŠNI (navesti vrstu rada: završni / diplomski / specijalistički / doktorski) rad isključivo rezultat osobnoga rada koji se temelji na mojim istraživanjima i oslanja se na objavljenu literaturu. Potvrđujem poštivanje nepovredivosti autorstva te točno citiranje radova drugih autora i referiranje na njih.

2. Kojom izjavljujem da je Ekonomski fakultet u Osijeku, bez naknade u vremenski i teritorijalno neograničenom opsegu, nositelj svih prava intelektualnoga vlasništva u odnosu na navedeni rad pod licencom Creative Commons Imenovanje – Nekomercijalno – Dijeli pod istim uvjetima 3.0 Hrvatska.

3. Kojom izjavljujem da sam suglasan/suglasna da se trajno pohrani i objavi moj rad u institucijskom digitalnom repozitoriju Ekonomskoga fakulteta u Osijeku, repozitoriju Sveučilišta Josipa Jurja Strossmayera u Osijeku te javno dostupnom repozitoriju Nacionalne i sveučilišne knjižnice u Zagrebu (u skladu s odredbama Zakona o znanstvenoj djelatnosti i visokom obrazovanju, NN br. 123/03, 198/03, 105/04, 174/04, 02/07, 46/07, 45/09, 63/11, 94/13, 139/13, 101/14, 60/15).

4. izjavljujem da sam autor/autorica predanog rada i da je sadržaj predane elektroničke datoteke u potpunosti istovjetan sa dovršenom tiskanom verzijom rada predanom u svrhu obrane istog.

Ime i prezime studenta/studentice: Luka Iljić

JMBAG: 0010210776

OIB: 31996911181

e-mail za kontakt: itzluka@gmail.com

Naziv studija: Preddiplomski studij, smjer Poslovna informatika

Naslov rada: Moore-ov zakon- granice postojećih rješenja i nove računalne arhitekture

Mentor/mentorica rada: prof. Dr. sc. Josip Mesarić

U Osijeku, 7. 9. 2020. godine

Potpis Luka Iljić

SAŽETAK

Mooreov zakon donosi tehnološke i društvene promjene. Mooreov zakon opisuje da se broj tranzistora u gustom integriranom krugu udvostručuje svake dvije godine. Tijekom proteklih pedeset godina svoga postojanja Mooreov zakon iznjedrio je mnoštvo inovacija. Posebno se to očituje u činjenici da su računala prije bila velika kao sobe, a danas koristimo pametne telefone koji imaju jake procesore. Prvi mikroprocesor napravila je 1971. godine američka firma Intel. Od tada pa do danas, svjedočimo vrtoglavom napretku u mikroprocesorskoj industriji. Na Intelovim čipovima, bazirana je većina današnjih računala. Na tržištu mikroprocesora danas su brojni proizvođači, a vrijednost se mjeri u milijardama dolara. Intel je vodeća tvrtka u proizvodnji procesora, tu su i druge tvrtke kao što su AMD koje proizvode procesore. Suvremeni procesori dosežu svoj vrhunac zbog ograničenja tehnologije i materijala pa se govori o kraju Mooreovog zakona. Međutim sagledavaju se i drugačija rješenja i materijali kako bi tehnologija i dalje napredovala.

Ključne riječi: Mooreov zakon, procesor, procesori budućnosti

ABSTRACT

Moore’s law brings technological and social change. Moore's law describes that the number of transistors in a dense integrated circuit doubles every two years. Over the past fifty years of its existence, Moore’s Law has spawned a multitude of innovations. This is especially evident in the fact that computers used to be as big as rooms, and today we use smartphones that have strong processors. The first microprocessor was made in 1971 by the American company Intel. From then until today, we have witnessed dizzying advances in the microprocessor industry. Most of today's computers are based on Intel chips. There are many manufacturers in the microprocessor market today, and the value is measured in billions of dollars. Intel is a leading company in the production of processors, there are other companies such as AMD that produce processors. Modern processors reach their peak due to the limitations of technology and materials, so we are talking about the end of Moore's law. However, different solutions and materials are being considered in order for the technology to continue to advance.

Keywords: Moore's Law, processor, processors of the future

SADRŽAJ

1. Uvod……..…..…1
2. Razvoj procesora…….…..2
2.1. Povijest razvoja procesora……..2
2.2. Procesorske arhitekture……...5
2.3. Karakteristike procesora…….7
2.4. Mooreov zakon……...9
3. Procesorske arhitekture i obradbene sposobnosti……12
3.1. Benchmark testovi i Mooreovi kriteriji razvoja……12
3.2.Tehnološke osnove suvremenih procesora…….12
3.3. Materijali i granice razvoja postojećih arhitektura……15
4. Mooreov zakon i druge računalne komponente……18
4.1. RAM……..18
4.2. HDD……...19
4.3. Računalne mreže……21
5. Procesori budućnosti……22
5.1. Koncepcijska i materijalna osnova…….……22
5.2. Grafenski procesori…….24
5.3. Tehnološka ograničenja…….…..25
5.4. Ekonomska ograničenja…….……26
6. Zaključna razmatranja……..…28
Literatura……..29
Popis slika i tablica……31

1. Uvod

Dolaskom na tržište računala su pokrenula revoluciju. Ta revolucija rezultirala je uvođenjem računala u gotovo sve poslovne djelatnosti, a primjenu je našlo i u kućanstvima. Danas gotovo da i ne postoji kućanstvo koje nema računalo, ili neki oblik pametne tehnologije. Isto tako je računalo pokrenulo i ubrzalo poslovne djelatnosti, a sve zbog jednostavnije izrade i niže cijene. Rezultat svega je nagli razvoj IT industrije.

Procesor čini srž računala, te se stoga neprestano usavršavaju. Posljedica usavršavanja novih i bržih procesora jest eksplozija tehnološkog razvoja. Moore-ov zakon objašnjava da se svakih osamnaest mjeseci broj tranzistora i brzine udvostručava. No upravo zbog složenosti obrade postaje upitna primjenjivost Mooreovog zakona i budući razvoj tehnologije. Mooreov zakon je potaknuo tvrtke da ulažu u razvoj raznih tehnologija, i to senzora, zaslona, softvera, memorije, i interneta. Sve to prati i smanjenje cijena proizvodnih jedinica. Stoga je cilj rada procijeniti validnost odnosno ispravnost Moore-ovog zakona, te koristi i ograničenja u predviđanju daljnjeg razvoja procesorskih arhitektura. To će se postići eksploratornom metodom tj. studij raspoložive literature o istraživanom fenomenu.

U prvom djelu rada prikazat će se razvoj procesora, arhitektura i karakteristike procesora, i definirati i objasniti Mooreov zakon. U drugom djelu pojasnit će se procesorske arhitekture, Benchmark testovi, tehnološke osnove suvremenih procesora te posebno materijali i granice razvoja postojećih arhitektura. U trećem djelu objasnit će se odnos i utjecaj Mooreovog zakona i drugih računalnih komponenti, posebno RAM, HDD i računalne mreže. U četvrtom djelu proučavat će se procesori budućnosti, njihova koncepcijska i materijalna osnova. Razmotrit će se tehnološka i ekonomska ograničenja. U zaključnom djelu dat će se završna razmatranja o promatranoj temi, a posebno o validnost Moore-ovog zakona te trendova razvoja procesorskih arhitektura.

2. Razvoj procesora

Procesor je mozak računala i stoga glavni dio računala.
„Procesor (engl. central processing unit−CPU, hrv. središnja jedinica za obradbu), glavni je dio računala koji vođen zadanim programskim naredbama izvodi osnovne radnje nad podacima. Središnji procesor nadzire odnosno izvršava glavni program i tipično upravlja i svim ostalim dijelovima računala. Danas je središnja jedinica za obradbu načinjena od tranzistora.“[1]

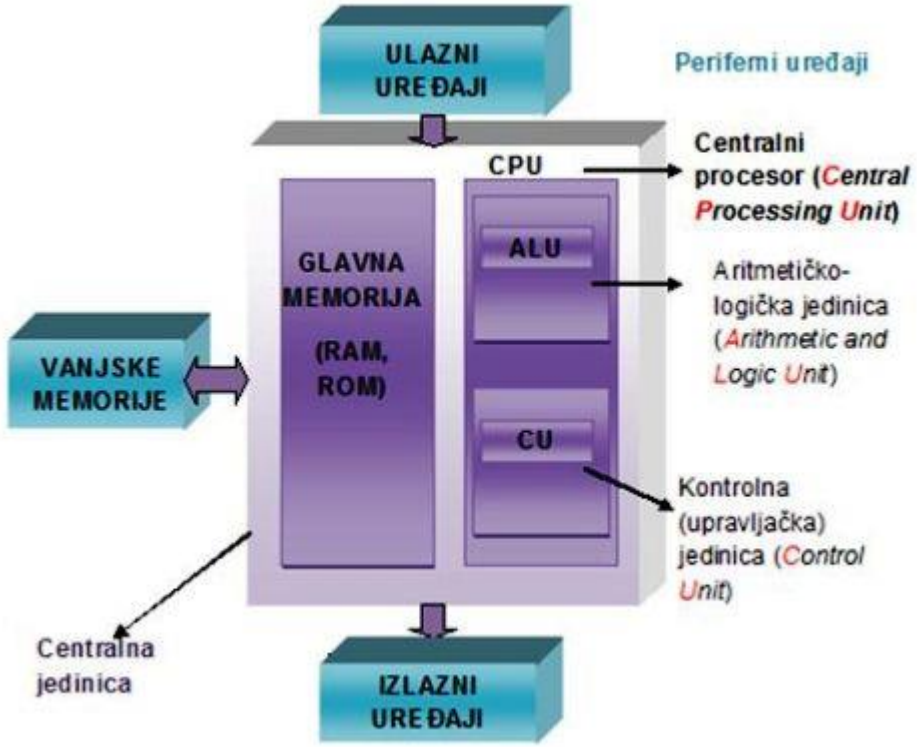
Prva računala nisu imala procesor već su se njihove cijevi i diode fizički morale prespajati da bi se određeni zadatak obavio. S pojavom računalnog programa tj. software-a za obavljanje određene funkcije, počinje i doba procesora. A s izumom tranzistora 1947. dolazi do preokreta. Tranzistor je sićušna poluprovodna komponenta koja služi za pojačavanje ili preusmjeravanje elektroničkog signala. Za razliku od vakumskih cijevi, tranzistor je povećao brzinu prijenosa signala, te smanjenje dimenzija procesora. Nekoliko tisuća povezanih tranzistora na čipu čine integrirane krugove, sklopove za obavljanje brzih računalnih operacija.[2]

2.1. Povijest razvoja procesora

Inicijator i predlagatelj suvremene procesorske arhitekture je John Von Neumann koji je bio izumitelj prilikom izgradnje računala prve generacije. Sva računala koja imaju sličnu organizaciju ili arhitekturu nazivaju se računala sa von Neumannovom arhitekturom. Temelji se na konceptu pohranjenih programskih računala na kojima se pohranjuju podaci u programu i podaci o uputama u istoj memoriji. Ideja iza Von Neumann arhitekture je mogućnost pohranjivanja uputa u memoriju zajedno s podacima na kojima upute djeluju. Von Neumannova arhitektura odnosi se na okvir koji treba slijediti računalni hardver, programiranje i podaci. Prema Von Neumann-u, sklopovlje računala može se podijeliti u tri cjeline: centralnu jedinicu za obradu podataka, memoriju i ulazno-izlazne uređaje. Sklopovlje računala može podijeliti u dvije skupine: na sklopove koji se nalaze u centralnoj jedinici i na periferne uređaje. U

[1] Ribarić, S. (2011.), *Građa računala, Arhitektura i organizacija računarskih sustava*, Algebra, Zagreb.
[2] Ljubić, A. (2019. *Povijesni razvoj procesora*, dostupno na https://raf.edu.rs/citaliste/hardver/3707-istorijski-razvoj-procesora pristupljeno 10.08.2019.

centralnoj jedinici nalaze se glavna memorija i centralni procesor, dok su periferni uređaji ulazni, izlazni uređaji i vanjske memorije.[3]



Slika 1. Von Neumannova struktura (izvor: http://damirkraljevic.from.hr/2020/05/18/111/)

Prvi procesor je napravio Intel 1971. Nazvan je Intel 4004, bilo ga je moguće izraditi zahvaljujući integriranoj tehnologiji. Integrirani krug znači da je cijeli CPU na jednom čipu. 4004 je 4-bitni procesor koji je imao brzinu od 740 kHz. Godine 1976. Intel je predstavio 16-bitni procesor 8086 koji je imao brzinu od 5 MHz. Novija verzija 8086 procesora korišten je za izgradnju prvog osobnog računala IBM. Uslijedio je Intel 486, koji je 32-bitni procesor koji je imao brzinu od 16 MHz. Tehnologija izrade integriranih krugova se paralelno razvijala s razvojem procesora. Godine 1993. Intel je predstavio Pentium procesor koji je imao brzinu od 60 MHz. Uslijedio je Pentium II koji je imao brzinu od 233 MHz, zatim Pentium III koji je imao brzinu od 450 MHz, Pentium 4 koji ima brzinu od 1,3 GHz. Kasnije, Intel je izdao Celeron

[3] Betweenmates, (2020.), Von Neumann i Harvard Architecture, dostupno na https://hr.betweenmates.com/difference-between-von-neumann-and-harvard-architecture-7448 pristupljeno 20.07.2020.

procesor, koji je imao brzinu od 266 MHz, a koji se koristi u pristupačnim low-end računalima. 2003. Intel je predstavio procesore serije Pentium M, koji su najavili novu eru mobilnog računalstva, pod Centrino platformom. Pentium M je sporiji u odnosu na stolna rješenja, na 900 MHz, tako da je smanjena potrošnja energije. 2006. Intel je predstavio Core procesor koji su imali brzinu od 1,6 GHz. Oni imaju više od jedne jezgre, kao u slučaju Core Duo (koji ima dvije jezgre), te mogućnost virtualizacije koja omogućuje višestruke kopije operativnog sustava koji će se izvoditi na istom računalu.[4] 2007. godine lansiran je Intel Core 2 Quad. Od 2009. godine Intel Core i7 te Intel Core i7 Extreme počeo je zauzimati tržište i cijenom i kvalitetom. Core linija naprednija je u svakom pogledu od Pentiuma. U 2011-toj godini 6 novih procesora iz serije Quad-Core Xeon 7300 nudi dvostruko bolje performanse te više nego trostruko bolje performanse po vatu u odnosu na Intelove dvojezgrene proizvode prethodne generacije. 2015. godine Intel predstavlja i7-6700K **i** i5-6600K sa novom integriranom grafikom, novim čipsetom i potpuno novom arhitekturom jezgre. Intel je predstavio novu liniju procesora, Xeon E3-1200 v5. Nova linija procesora utemeljena je na Intelovoj 14-nanometarskoj arhitekturi Skylake, a nudi do 27% bolje računalne i grafičke performanse u usporedbi s prethodnom generacijom procesora. Procesori imaju četiri jezgre, radnog takta od 2,0 GHz do 3,7 GHz, te integriranu profesionalnu grafiku Intel HD Graphics P530. 2016. godine nova generacija Intelovih 14 nm procesora dolazi s novom mikroarhitekturom, i posebno poboljšanja na polju performansi. Intel lansira Kaby Lake arhitekturu, najavivši šest novih procesora. U seriji procesora ima tri procesora: i7-7500U, i5-7200U, i3-7100U**.** 2017.godine Intel predstavlja procesore serije Dual-Core Intel Itanium Processor 9100. Serija 9100 predstavlja šestu generaciju čipova Itanium, a služi za upravljanje naprednim aplikacijama koje poboljšavaju pouzdanost i smanjuju potrošnju energije. 2019.godine Intel je predstavio nove procesore devete generacije koji neće imati integriranu grafiku. Novi članovi Intelove devete generacije procesora tako uključuju i3, i5 te i7. Glavne razlike Intel Core3 u odnosu na i5 i i7 očituju se u smanjenoj cache memoriji**,** izostanku turbo boost tehnologije i manjem broju jezgara**.** U 2020. godini Intel je sa svojim procesorima probio 5 GHz bez potrebe za overclockanjem. Najbolji modeli dostižu i do 5,3 GHz što će biti posebno uočljivo kod zahtjevnijih aplikacija. Intel Core i9-10980HK procesor desete generacije trebao bi biti najsnažniji CPU za prijenosnike te zahvaljujući Boostu doseže taktove od 5,27 GHz. Uspješan

[4]Barić, J. (2019.) *Povijest CPU,* dostupno na http://adria.fesb.hr/~josibari/seminar/povijest.html pristupljeno 02.08.2019.

je u revidiranom 14nm proizvodnom procesu, sadrži ukupno 8 procesorskih jezgri i 16 threadova zahvaljujući HyperThreading tehnologiji.[5]

2.2. Procesorske arhitekture

Iako procesor izgleda veoma jednostavno on u svojoj unutrašnjosti ima stotine milijuna tranzistora koji su smješteni u jednom čipu. Procesor 4004 je preteča svih današnjih procesora Intela. Prvi čip koji je upotrjebljen u IBM-u PC-u bio je Intel 8088. Iako nije bio najbolji CPU-u odabran je iz ekonomskih razloga: njegova 8-bitna magistrala podataka zahtijevala je jeftinije matične ploče od 16-bitnog 8086. Isto tako u vrijeme kada je projektiran originalni PC, većina raspoloživih čipova bila je namijenjena za uporabu u 8-bitnim konstrukcijama. Takvi rani procesori ne bi imali dovoljnu snagu da izvršavaju današnje programe. Čipovi treće generacije, zasnovani na Intelovim 80386SX i DX procesorima, bili su prvi 32-bitni procesori koji su se pojavili u PC-u. Četvrta generacija procesora je bila također 32-bitna. Ali oni su svi nudili izvjestan broj poboljšanja. Prvo, čitava konstrukcija je pažljivo urađena što čini ove procesore više od dva puta bržim. Drugo, oni su imali 8 kilobajta skrivene (cache) memorije na samom čipu. To je značilo da je procesor u prosijeku morao čekati na podatak sa matične ploče samo 4% od ukupnog vremena. S poboljšavanjem hardvera i arhitektura je napredovala. Tako je 1985. godine Intel predstavio arhitekturu nazvanu i386, ali se danas češće zove x86-32 ili IA-32. AMD je bio prvi koji je 2003. predstavio 64 bitnu arhitekturu korištenu u njihovom Athlon 64 procesoru. Sa procesorom 486DX2 inovacija je odvajanje generatora takta. To je značilo da su kola unutar čipa radila dva puta brže od vanjske elektronike. Time su podaci između procesora, unutrašnje skrivene memorije i matematičkog koprocesora bili prenošeni dvostrukom brzinom, što je značajno poboljšavalo performansu. Procesor 486DX4 je utrostručio brzinu generatora takta da interno radi na 75 ili 100 MHz i udvostručavaju i veličinu primarne skrivene memorije na 16 kilobajta.[6]

Pentiumov procesor pete generacije osigurava povećanu performansu u odnosu na čipove 486, zahvaljujući većem broju promjena u arhitekturi koje uključuju i udvostručavanje širine magistrale podataka na 64 bita. Procesor P55C MMX je udvostručio primarne skrivene memorije na ploči na 32 kilobajta i proširio instrukcije te time optimizirao izvršavanje

[5] Šešlek, M. (2019.), Nova Intelova linija procesora bez integrirane grafike,dostupno na https://www.vidilab.com/ pristupljeno 19.07.2020.
[6] Ljubić, Op.cit. (bilj.2)

multimedijskih funkcija. 1995. godine uveden je procesor Pentium Pro. Bio je prvi u šestoj generaciji procesora sa mnoštvom unikatnih osobina arhitekture. To je bio prvi CPU koji je promijenio način izvršavanja instrukcija, i to tako da ih je preveo u mikro instrukcije i izvršavajući ih u vrlo naprednu jezgru. Uvedena je i skrivena memorija koja je imala viši nivo performanse u usporedbi sa ranijim procesorima. Umjesto da se koristi cash memorija upotrjebljena je integrirana skrivena memorija sa svojom vlastitom magistralom, koja radi punom brzinom procesora tri puta brže od skrivene memorije na Pentiumu. Intelu je trebala jedna i pol godina da proizvede novi čip poslije Pentiuma Pro.[7]

Pentium II je slijedeći evolutivni korak jer se pobjeglo od skupe integrirane skrivene memorije drugog nivoa. Što se tiče arhitekture Pentium II se ne razlikuje mnogo od Pentiuma Pro i ima većinu istih osobina, ali je unaprijedio arhitekturu udvostručavanjem veličine skrivene memorije na 32 kilobajta, upotrebom specijalnih cache memorija i povećavanjem veličine bafera za pisanje. No ono što je najbitnije kod Pentiuma II je njegovo pakiranje. Integrirana skrivena memorija bila je na Pentiumu II zamijenjena specijalnom malom pločom koja je sadržavala procesor i 512 kilobajta sekundarne skrivene memorije i koja je radila na polovini brzine procesora. Taj sklop je nazvan jednoivični cartridge (single-edge cartridge – SEC), i bio je projektiran tako da odgovara slotu od 242 pina koji se nalazio na novim matičnim pločama za Pentium II. Najbitniji uvjet koji je postavio IBM Intelu da bi njegovi procesori postali osnova PC računala je bila da još minimalno jedna korporacija ima pravo na patente za gradnju procesora serije x86. Intelo je izabrao AMD. Slijedećih 25 godina nekoliko drugih kompanija se pokušalo ugurati u ovaj posao ali malo koja je ostala zapažena. [8]

Današnji procesori dostižu radni takt i brzine i do 8GHz. Kako su napredovali procesori morali su se i socketi mijenjati. Danas u jedan tip socketa mogu ići samo par procesora, a ne svaki, koji se napravi. U borbi oko prevlasti oko procesora ostali su INTEL i AMD.[9]

„Osnovni dijelovi procesora mogu činiti sljedeći podsustavi:

- ALU- aritmetičko logička jedinica koja vrši aritmetičke operacije, logičke operacije ili neke druge operacije
- AGU- address generation unit (jedinica za stvaranje adresa)

[7] Intel, dostupno na www.intel.com, pristupljeno 03.08.2019.
[8] Ibid.
[9] Ljubić, Op.cit. (bilj.2)

- CU upravljačka jedinica koja može imati diskretnu logiku ili mikroizvršivać
- IR- naredbeni spremnik ili instrukcijski registar
- MAR- spremnik memorijske adrese ili eng. Memory Address Registar
- MBR- spremnik memorijskog međuspremnika ili eng. Memory Buffer Registar
- Sabirnicu ili sabirnice
- Podsklopove za sinkroniziranje operacija
- Datoteka spremnika
- Spremnik kazaljke stoga“[10]

2.3. Karakteristike procesora

Postoji mnogo vrsta procesora i karakteristike koje ih razlikuju tiču se brzine rada procesora, dužine procesorske riječi, broja jezgra, te procesorska cash memorija. Sve ove komponente utiču na brzinu i jačinu računala.[11]
Brzina procesora je broj operacija koje procesor može obraditi u 1 sekundi. Izražava se u MIPS (Milion Instruction Per Second) ili u MFLOPS(Milion Floating Point Operations Per Second). Brzinu izvođenja programa određuje i sposobnost procesora da dohvaća odnosno pohranjuje podatke dovoljno velikom brzinom, što je u razvoju procesora rezultiralo i proširenjem njegovih sabirnica, tako da se istovremeno u procesor dohvaća ili iz njega pohranjuje čim više bita. Danas je uobičajeno i rašireno da je širina sabirnice za podatke 8, 16, 32 ili 64 bita. Maksimalan broj operacija koje procesor može izvršiti u jednoj sekundi trenutno se obilježava u gigahercima (GHz). Brži procesor znači bolje performanse, što obično znači i „moćnije“ računalo. Postoje 32-bitni i 64-bitni procesori što označava broj bitova koji se istovremeno prenosi i obrađuje u procesoru, što predstavlja termin “dužina procesorske riječi“. Podaci sa kojima procesor trenutno obavlja operaciju se nalaze u registrima. Pošto se u procesor odjednom prenosi onoliko bitova koliko je dužina registra, a isto toliko se odjednom i obrađuje u procesoru, dužina procesorske riječi odgovara dužini registra procesora.[12]

Radni takt je učestalost impulsa koji generira sat - specijalno elektronsko kolo kojim se iniciraju operacije procesora. Procesor preko jedne linije na kontrolnoj magistrali dobije takt signal.

[10] Ribarić, Op.cit. (bilj.1)
[11] Agencija za informatičke i komunikacijske usluge, *Procesor ili CPU*, dostupno na https://www.aiku.info/procesor-ili cpu-sta-bi-trebalo-da-znam-o-njemu/ pristupljeno 05.08.2019.
[12] Agencija za informatičke i komunikacijske usluge, Op.cit. (bilj.11)

Radni takt se mjeri u GHz. Iako je raširenо kao mjeru brzine rada procesora uzeti frekvenciju radnog takta ,ta je mjera smislena samo kada se uspoređuju vrlo bliski tipovi procesora. Naime, zbog različitog ustroja procesora, vrlo velike razlike u brzini rada se mogu postići i pri istom radnom taktu. Tako superskalarni izvode nekoliko naredbi istovremeno, iskorištavajući činjenicu da se izvođenje naredbi odvija u nekoliko koraka, pri čemu svaki korak upotrebljava drugi dio procesora. Superskalarni procesor dakle omogućuje da se svi dijelovi procesora rabe istodobno ako je slijed naredbi takav da zahtijeva rad svih dijelova procesora. Kao mjera za ubrzanje procesora, puno napora se ulaže i u podizanje frekvencije radnog takta. No tehnološka ograničenja dozvoljavaju da se vrlo visoke frekvencije mogu postići samo na malim dijelovima, te je ustaljeno da se cijeli poluvodički čip procesora ne pogoni istim radnim taktom, to jest da se visokom frekvencijom takta pogone samo središnji dijelovi, a da se ostali dijelovi procesora, a nadalje i cijelog računala, pogone sporijim taktom. To dovodi do nesrazmjera u brzini rada procesora i memorije, dakle memorija postaje spori dio koji ograničuje ukupnu brzinu računala. Stoga se u procesor tipično ugrađuje priručna memorija koja je brža od glavne memorije, ali time i skuplja pa stoga i manjeg kapaciteta. U nju se sprema svaki podatak odnosno programska naredba koje su nedavno dohvaćene iz memorije, tako da ako uskoro budu opet dohvaćane, da se dohvate iz brže priručne memorije. Tipično je da se i ta priručna memorija dijeli u slojeve, tako da se uvede jedan još brži, i stoga još manji dio, odnosno da se priručna memorija podijeli na dio za podatke i dio za naredbe.[13]

Jedna od karakteristika procesora jest broj njegovih jezgra. Višejezgreni procesor jest fizički jedan procesor u kome se nalazi više procesora koji su nezavisni. Jezgre se uglavnom nazivaju dvojezgreni (dual-core), četverojezgreni (quad-core), šesterojezgreni (hexa-core), i osmerojezgreni (octa-core) procesori.[14]

Interni cash je cash memorija koja se nalazi u samom procesoru. Omogućava veću brzinu procesora pa se sve češće GHz upotrebljava kao mjerna jedinica za brzinu procesora. Kad procesor „provali“ da se neke radnje ponavljaju i stalno koriste jedni te isti podaci, on će to spakirati u neki svoj cache. Taj cash je kao mini-RAM memorija kapaciteta 1-8MB ali koja radi mnogo brže, s tim što će podatak umjesto da bude spakiran na RAM memoriju biti spakiran u cash procesora, te se smanjuje komunikacija sa RAM memorijom što na kraju dovodi do veće

[13] Informatika, *Procesor,* dostupno na https://informatika00.weebly.com/procesor.html pristupljeno 02.08.2019.

[14] Agencija za informatičke i komunikacijske usluge, Op.cit. (bilj.11)

brzine rada. Veći cash = potencijalno brže računalo.[15]

Brzina i broj jezgri su vjerojatno dva aspekta procesora, a na kraju krajeva i računala koji se najviše reklamiraju. Dugo vremena, sve je funkcioniralo ovako: što je veća brzina, to je brži procesor, i što je više jezgri, to znači da je i više brzine. No, procesori danas ne ovise više toliko o brzini i broju jezgri, zato što sada CPU sadrži nekoliko novih dijelova koji određuju koliko će biti brzi. Sve se svodi na to koliko procesor može odraditi ciklusa u jednoj sekundi.

2.4. Mooreov zakon

Mooreov zakon kaže da se broj tranzistora koji se po najpovoljnijoj cijeni mogu smjestiti na čip udvostručava otprilike svake dvije godine. Opisuje povećanje broja tranzistora na čipu tokom vremena što je rezultiralo kontinuiranim napretkom tehnoloških rješenja, eksponencijalnim rastom brzine, snage mikroprocesora, a eksponencijalnim padom cijene takvih sustava.[16]

Tablica 1. "Rast" u broju tranzistora na jednom čipu

mikroprocesor	**Godina proizvodnje**	**Broj tranzistora**
4004	1971	2.300
8008	1972	2.500
8080	1974	5.000
8086	1978	29.000
Intel286	1982	120.000
Intel386TM	1985	275.000
Intel486TM	1989	1.200.000
Pentium	1993	3.100.000
Pentium II	1997	7.500.000
Pentium III	1999	24.000.000
*Pentium*IV	2000	42.000.000
Itanium	2002	220.000.000

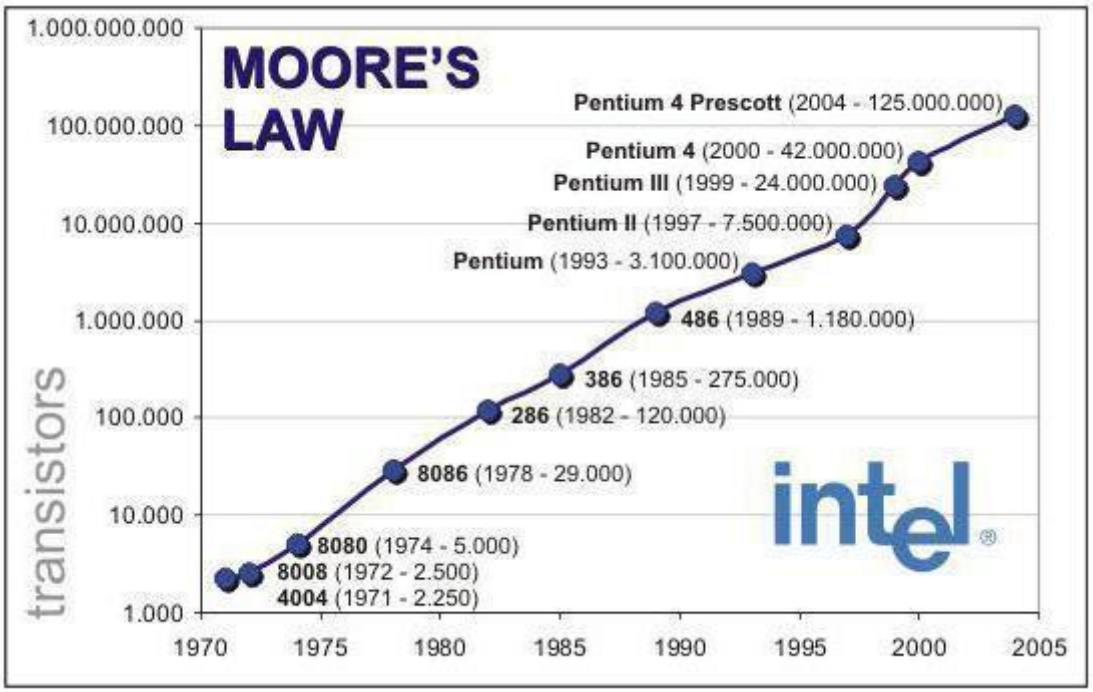
[15] Ibid.
[16] Moore, G. (1965.), *Cramming More Components onto Integrated Circuits*, Electronics, Vol. 38, No. 8.

*Itanium*2	2003	410.000.000
Itanium(*Montecito*)	2005	1.720.000.000
Tukwila	2008	preko 2 milijarde

Izvor:(https://www.researchgate.net/figure/The-integration-rate-of-transistors-in-microprocessor-generations-1_tbl1_325882038)

Zakon je nazvan po Gordonu Mooreu, suosnivaču tvrtke Fairchild Semiconductor i izvršnom direktoru Intela, koji je 1965. godine opisao udvostručenje svake godine u broju komponenta po integriranom krugu. Trend počinje izumom integriranog kruga 1958. godine. Povijest otkrića zakona nastala je kada je za trideset petu godišnjicu izdanja časopisa Electronics, koji je objavljen 19.04.1965., Gordon E. Moore, koji je radio kao direktor istraživanja i razvoja na Fairchild Semiconductor u to vrijeme, zamoljen predvidjeti što će se dogoditi u industriji komponenti poluvodiča u sljedećih deset godina. Njegov odgovor bio je kratak članak pod naslovom "Usklađivanje više komponenti na integrirane sklopove". Unutar svog uvodnika, on je nagađao da bi do 1975. godine bilo moguće sadržavati čak 65.000 komponenti na jednom četvrtinskom inču poluvodiču. Nedugo nakon 1975. godine, profesor Carver Mead popularizirao je pojam "Moorov zakon". Suština zakona Gordona Moorea je njegovo primjećivanje da je otprilike svakih 1,5 godina udaljenost između elemenata na jednom kristalu smanjena za oko 30%. Zbog toga se broj elemenata na takvom kristalu udvostručuje. Povećanje broja elemenata na jednom čipu prati, u pravilu, povećanje njegove izvedbe, što je određeno frekvencijom takta. Izdavanje novog modela mikroprocesora odvija se u prosjeku svakih 3-5 godina, a njegova učinkovitost raste 2-4 puta. Cijena novog mikroprocesora na tržištu je konstantna i kreće se od 500 do 800 dolara. Slijedom toga, moguće je govoriti ne samo o povećanju broja elemenata po kristalu, već i o smanjenju cijene mikroprocesora
istog učinka. Moorovo se predviđanje pokazalo točnim već nekoliko desetljeća, te se koristi u industriji poluvodiča za usmjeravanje dugoročnog planiranja i postavljanje ciljeva za istraživanje i razvoj.[17]

[17] Moore, G.(2006.), *Chapter 7: Moore's law at 40*", *Understanding Moore's Law: Four Decades of Innovation*, Chemical Heritage Foundation



Slika 2. Mooreov zakon (izvor: https://www.phonearena.com/news/Moores-Law-is-coming-to-an-end_id54127)

Postoji nekoliko tumačenja Mooreovog zakona:

Najpovoljniji broj tranzistora na čipu se udvostručuje svake godine;

Broj tranzistora u proizvedenim čipovima udvostručuje se svake dvije godine;

Tehnološki mogući broj tranzistora na čipu udvostručuje se svake dvije godine;

Kapacitet se udvostručuje svakih 18 mjeseci;

Frekvencija takta se udvostručuje svakih 18 mjeseci;

Računalna snaga udvostručuje se svakih 18 mjeseci;

Dostupna računalna snaga udvostručuje se svakih 18 mjeseci;

Gustoća tranzistora na čipu udvostručuje se svakih 18 mjeseci;

Računalna snaga dostupna za $ 1 udvostručuje se svakih 18 mjeseci;

Cijena čipa pada dva puta svakih 18 mjeseci.[18]

[18] Duvnjak, B. (2015.) *I 50 godina od osnutka Mooreov zakon i dalje mijenja i tehnologiju i svijet*, dostupno na https://www.telegram.hr/biznis-tech/i-50-godina-od-osnutka-mooreov-zakon-i-dalje-mijenja-i-tehnologiju-i-svijet/ pristupljeno 10.08.2019.

3. Procesorske arhitekture i obradbene sposobnosti

Danas središnja jedinica za obradbu načinjena je od tranzistora, tipično u CMOS izvedbi, tehnologijom na siliciju ili drugom poluvodičkom monokristalu. Visoko integrirani krugovi koji sadrže sve funkcije središnje jedinice za obradbu nazivaju se mikroprocesori.[19] Zbog svoje središnje važnosti, u ovom poglavlju razmatrat će se njegov razvoj, tehnološke osnove te materijali i granice razvoja.

3.1. Benchmark testovi i Mooreovi kriteriji razvoja

Općenito govoreći, što je veći broj komponenti procesora, performanse procesora bi trebale biti bolje. To nije uvijek tako, u ovisnosti o samoj arhitekturi procesora performanse izrazito variraju, te se za usporedbu koriste rezultati benchmark testova.

Benchmark **(**u slobodnom prijevodu - mjerenje mogućnosti računala) je rezultat rada nekog računalnog programa ili grupe programa u cilju da se prikupe informacije o kvaliteti i mogućnostima nekog objekta, najčešće nekog hardvera ili softvera. Termin benchmark se koristi i u posebno napravljenim programima koji služe za isprobavanje mogućnosti računala te testiranje njegove brzine i sličnih testova. Najčešće se uspoređuju hardver i njegove mogućnosti, tako se na primjer kod procesora testira floating point operacija, uz ostale sastavne stvari koje se tiču brzine i mogućnosti procesora.[20] Naravno, rezultati benchmark testova procesora sami po sebi ne jamče brzinu i besprijekoran rad uređaja, već njegov potencijal.

3.2. Tehnološke osnove suvremenih procesora

Razvoj mikroelektronike je više od 40 godina glavna pokretačka snaga svjetske tehnološke revolucije, donoseći radikalne pozitivne promjene u životima milijardi ljudi. Praktična aktivnost Intela ne samo da produžuje život Mooreovog zakona, već i proširuje svoje djelovanje na različita područja. Mikroprocesori su doslovno sveprisutni, a dostignuća visokih tehnologija su ogromna, jer uz tradicionalne domene Intel predlaže njihovo korištenje u potpuno novim

[19]Ribarić, Op.cit. (bilj.1)
[20]Intel , Op.cit. (bilj.7)

područjima: u bežičnim tehnologijama, senzorima i senzorskim mrežama, kao i u optičkim tehnologijama.[21]

Dolaskom novih tehnologija i početkom četvrte industrijske revolucije nastavlja se ubrzani razvoj potrebe za obradom većih količina podataka. Obrada velikih količina podataka zahtjeva i unaprjeđenje infrastrukture koja može omogućiti efikasnu obradu podataka. Nastavkom revolucije očekuje se dodatni porast zahtjeva za računalnim resursima što će zahtijevati i razvoj tehnologija koje se koriste u trenutnim računalnim sustavima.[22]

U usporedbi s prvim Intelovim mikroprocesorom, modelom Intel 4004, današnji 14 nanometarski procesori nude tri i pol tisuće puta bolje performanse i devedeset tisuća puta veću učinkovitost, a sve to po jednoj šezdesettisućini ondašnje cijene. Prvi poluvodički tranzistori bili su veličine gumice na olovci. Zahvaljujući Mooreovu zakonu, u točku na kraju ove rečenice stalo bi više od šest milijuna 22-nanometarskih tranzistora Tri-Gate. Današnji tranzistori nisu vidljivi golim okom. Da bi bilo moguće vidjeti jedan tranzistor, prosječan bi čip trebalo uvećati na veličinu kuće. Znanstvenici sa Sveučilišta u Pittsburghu napravili su razvoj jedno-elektronskog tranzistora promjera 1,5 nanometara, načinjen od materijala na bazi oksida. Ovo sugerira da su zahtjevi snage proporcionalni području (i napon i struja proporcionalni duljini) za tranzistore. U kombinaciji s Mooreovim zakonom, performansa po watu raste otprilike istom brzinom kao i gustoća tranzistora, udvostručujući se svake 1–2 godine. Prema Dennard skaliranju dimenzije tranzistora su skalirane za 30% (0.7x) svake generacije tehnologije, čime se njihova površina smanjuje za 50%. To smanjuje kašnjenje za 30% (0.7x) i stoga povećava radnu frekvenciju za oko 40% (1.4x). Konačno, da bi se održalo konstantno električno polje, napon se smanjuje za 30%, smanjujući energiju za 65% i snagu za 50%. Stoga se u svakoj tehnologiji generacije tranzistorske gustoće udvostručuje, sklop postaje 40% brži, a potrošnja energije ostaje ista.[23]

Alternativni izvor poboljšanih performansi je u mikroarhitekturi tehnikama koje iskorištavaju rast dostupnog broja tranzistora. Izvršavanje naloga na čipu smanjuju usko grlo latencije memorije na račun korištenja više tranzistora i povećanja složenosti procesora. Godinama su proizvođači procesora donosili povećanje takta i paralelizma uputa, tako da je jedan-kodni kod

[21] Hofman, D., Žagar, M., (2016.), *Procesori budućnosti u Hrvatskoj*, Godišnjak Akademije tehničkih znanosti Hrvatske, Zagreb.
[22] Ibid.
[23] Ibid.

izvršavao brže na novijim procesorima bez modifikacija. Sada, za upravljanje CPU snage, proizvođači procesora preferiraju multi-core dizajne čipova, a softver mora biti napisan na multi-threaded način kako bi se u potpunosti iskoristilo hardver. Taj učinak postaje vidljiviji s povećanjem broja procesora. Postoje slučajevi u kojima je otprilike 45% povećanje procesorskih tranzistora rezultiralo povećanjem procesne snage za 10-20%. S druge strane, proizvođači procesora iskorištavaju dodatni prostor koji osigurava skupljanje tranzistora za dodavanje specijaliziranih procesnih jedinica koje se bave značajkama kao što su grafika, video i kriptografija.[24]

Današnji, moderni procesori nude nove mogućnosti koje dodatno olakšavaju obradu podataka. Mogućnosti kao što su više jezgri i Hyper-Threading služe lakšem i bržem procesuiranju sve veće količine podataka koja danas ”ulazi” u naša računala. Uz to neka računala koriste više procesora odjednom. Obično mjerenje radnog takta procesora je nekoć bila sasvim dovoljna za uspoređivanje performansi. Danas stvari više nisu tako jednostavne. Procesor koji u sebi ima ili više jezgri ili Hyper-Threading mogućnost će puno bolje procesuirati podatke nego što će to učiniti procesor sličnog radnog takta, ali s jednom jezgrom i bez Hyper-Threading-a. Računala koja na sebi imaju više procesora u pogledu ovakvih stvari imaju još veću prednost. Sve ovo je osmišljeno kako bi računalu dodatno olakšalo obavljanje više zadataka ili procesuiranje veće količine podataka u isto vrijeme, čime se dodatno poboljšavaju performanse, ne samo procesora već i računala u različitim uvjetima (kao što je ”multitasking” ili korištenje zahtjevnijih aplikacija. Hyper-Threading je bio prvi pokušaj tvrtke Intel da na jedno osobno računalo uvede paralelni sustav obrade podataka. Sustav se prvi puta pojavio u javnoj uporabi davne 2002. godine s procesorom Pentium 4 HT. Tada je Pentium 4 imao samo jednu jezgru i mogao je obavljati samo jednu po jednu aktivnost . Ono što se pokušalo učiniti Hyper-Threading-om jest da se to ubrza i da se pokaže kako se i procesorom koji ima jednu jezgru i koji je takoreći spor u stvari brži nego što zapravo jest. Hyper-Threading, osim što vara operacijski sustav računala navodeći ga da ”misli” kako procesor ima više jezgri od stvarnog stanja, daje procesoru mogućnost da sam koristi svoju vlastitu logiku kako bi pokrenuo programe. Ovo donekle ubrzava stvari iz razloga što dvije logičke jezgre dijele iste resurse koji su potrebni za fizičko pokretanje programa. Ako jedna virtualna jezgra stoji i ne radi ništa, druga virtualna jezgra od nje može posuditi resurse za rad i na taj način brže i bolje obavljati ono što korisnik trenutno

[24] D., Z., (2018.), *Osnovno o procesorima: što su to jezgre, Hyper- Threading i koja je prednost više jezgri?,* dostupno na https://pcchip.hr/hardver/komponente/osnovno-o-procesorima-sto-su-to-jezgre-hyper-threading-i-koja-je-prednost-vise-jezgri/ pristupljeno 07.08.2019.

pokreće na svome računalu. Iako Hyper-Threading pomaže donekle ubrzati rad procesora, to nije ni blizu ubrzanju koje donose prave, fizičke jezgre. Danas velika većina modernih računala imaju procesore sa barem dvije jezgre, dok je Hyper-Threading sustav koji na sebi imaju Intelovi procesori.[25]

IBM je 2015. demonstrirao 7nm čipove čvorova s silicij-germanium tranzistorima. Tvrtka vjeruje da bi ova gustoća tranzistora bila četiri puta veća od struje 14 nm čipova. Revolucionarni tehnološki napredak može pomoći u održavanju Mooreovog zakona kroz poboljšanu izvedbu sa ili bez smanjene
veličine značajke.[26]

3.3. Materijali i granice razvoja postojećih arhitektura

Nova postignuća proizvođača poluvodiča odnosno računalnih procesora već se opasno približavaju fizičkim granicama poznatih nam materijala. Takve vijesti koje sve češće dolaze iz proizvodnih pogona informatičke industrije pokreću živu raspravu o današnjoj ulozi Mooreovog zakona. Tajna uspjeha tog zakona leži u dugotrajnoj i konstantnoj minijaturizaciji kojom se dugo vremena uspijevalo smjestiti sve više tranzistora na istu površinu silicija. No minijaturizacija, nije baš jednostavna jer zahtijeva poštivanje petnaest parametara koji utječu na ponašanje mikro sklopova. Poštivanje tih parametara bilo je relativno jednostavno dok istraživači nisu došli do minijaturnih dimenzija, primjerice dok nisu materijale stanjili na debljinu od svega pet atoma. Sada, kada su takve dimenzije postale stvarnost, daljnja minijaturizacija vrlo je složena. Kao najveći problem navodi se otjecanje električnog napona koje uzrokuje prekomjerno zagrijavanje čipova. Prema tome, najveći naglasak kod daljnje inovacije biti će stavljen na traženje alternativnih načina potrošnje energije.[27]

Intelovi laboratoriji već razvijaju ideje koje će biti ugrađene u čipove tek za 10 godina, a jedna čisto teoretska ideja je ponovna uporaba elektrona. Druga alternativa su nanocijevi ugljika i silicija. Tranzistori napravljeni od takvih materijala imaju usporedive veličine. Promjer ugljikovih nanocijevi je 1-2 nm, ali u eksperimentalnim tranzistorima izvor i odvod nalaze se

[25] Ibid.
[26] IBM, dostupno na www.ibm.com. pristupljeno 14.08.2019.
[27] Gelo, R., *Kraj Mooreovog zakona*, dostupno na http://www.sapmag.com.hr/show_article.php?id=175 pristupljeno 07.08.2019.

duž njihove duljine. To omogućuje da se poveća brzina i smanji potrošnja energije, ali se veličina više neće smanjivati. Egzotične strukture, kao što su ugljikove nanocijevi, mogu se koristiti u CMOS tehnologiji ne toliko da bi se ubrzala brzina minijaturizacije nego kako bi se povećala učinkovitost uređaja ili, eventualno, pojednostavila njihova proizvodnja. Čak i ako je izumljen fundamentalno drugačiji način kretanja elektrona, njegov razvoj za povećanje gustoće i produktivnosti neće ići puno dalje od granica koje se mogu postići CMOS tehnologijom, uglavnom zbog ograničenja koje nameće zahtjev za disipacijom topline.[28] Nažalost, toplina se ne može neograničeno povećavati. U nekom trenutku bit će potrebno još više hlađenja (voda ili kompresor). Učinkovito hlađenje je prava glavobolja moderne industrije. A proizvođači čipova pokušavaju pronaći različite pristupe kojima je cilj smanjiti oslobađanje topline njihovih proizvoda. Možda će procesor biti podijeljen na nekoliko dijelova - ili će sustavi s dva procesora postati sve popularniji. Slijedeća posljedica su problemi vezani uz miješanje različitih tipova lanaca na jednom kristalu. Mobilna računala zahtijevaju da se sve funkcije integriraju na jedan čip, uključujući memoriju, procesor i mnoge bežične opcije. Neki proizvođači rješavaju problem pokušavajući ih na bilo koji način integrirati u kristal, dok drugi pokušavaju pronaći nove tehnologije pakiranja koje će omogućiti kombiniranje brojnih čipova s mnogim funkcijama u jednom modulu. U isto vrijeme, Paolo Jargini je rekao da će do 2020. Intel moći izraditi tranzistore prema modernoj shemi rada - s elektrodama i vratima između njih. Međutim, do tada će dimenzije svih elemenata tranzistora doseći atomske dimenzije, pa će ih jednostavno biti nemoguće dalje smanjiti. Stoga je sada potrebno tražiti nove pristupe. Jedna od njih je organizacija prijenosa signala na razini elementarnih čestica, spinskim valovima.[29]

Sljedeća alternativa je proizvodnja čipova velikih veličina, povećanje njihove površine ili izgradnja trodimenzionalnih višeslojnih čipova. Vrijeme će pokazati daljnji razvoj poluvodiča. Na Stanfordovim poluvodičima može se dobiti 10 puta više tranzistora nego na čistom siliciju. Silicij već desetljećima predstavlja osnovu procesora, no sve više se približava svojim fizičkim granicama. Izrada procesora manjeg od 5 nanometara vrlo je teška, pa se stoga traže novi pristupi. Znanstvenici Stanforda pronašli su način kako doskočiti tom problemu i omogućiti produljenje Mooreovog zakona na još neko vrijeme. Njihova ideja je zamijeniti silicij gdje god se može materijalima koji su učinkovitiji u čuvanju prostora, pa su izradili poluvodiče od hafnijevog diselenida i cirkonijevog diselenida koji mogu biti ekstremno tanki (debljine od

[28] Jargini, P. (2017.) *How to Successfully Overcome Inflection Points, or Long Live Moore's Law,* Computing in Science and Engineering 19(2).
[29] Jargini, Ibid.

samo tri atoma), dok istovremeno imaju sva svojstva električne vodljivosti u sredini između izolatora i vodiča. Ova tehnologija omogućuje izradu tranzistora koji su 10 puta manji od najmanjih proizvedenih od čistog silicija. Znanstvenici kažu da za izradu njihovih poluvodiča i dalje treba silicij, no kombinacija ovih materijala sa silicijem znatno smanjuje njihovu veličinu, dok istovremeno dovodi do kompleksnijih procesora, dužeg trajanja baterije i drugih korisnih značajki koje dolaze smanjenjem veličine. Kao i u slučaju s drugim tehnološkim otkrićima, najveći izazov će biti dovesti ovu tehnologiju na tržište. Stanfordov tim se trudi poboljšati kontakt između tranzistora i strujnih krugova, kao i povećati pouzdanost izolacije, a najveći izazov će biti proizvodnja poluvodiča pune veličine, odnosno izrada čipova koji će se naći u našim uređajima.[30]

[30] Jargini, Op.cit. (bilj.28)

4. Mooreov zakon i druge računalne komponente

Mooreov zakon odražava se i na druge komponente računala, a navest ćemo njegov odnos prema RAMU-u, HDD-u te računalnim mrežama.

4.1. RAM

RAM (kratica od Random Access Memory - memorija s nasumičnim pristupom) je oblik primarne računalne memorije čijem se sadržaju može izravno pristupiti, za razliku od sekvencijskih memorijskih uređaja kao što su magnetne vrpce, CD i DVD diskovi te tvrdi diskovi, u kojima pristup određenom sadržaju ovisi o položaju čitača. Računala koriste RAM za čuvanje programskog koda i podataka tijekom rada programa. Jedna od glavnih karakteristika RAM-a je taj da se pristup svim memorijskim lokacijama izvodi u jednakom vremenskom intervalu, za razliku od ostalih memorijskih komponenti koje imaju određeno vrijeme čekanja.[31]

Programi i podaci pohranjuju se u memoriju. Pred memorijom se postavljaju dva zahtjeva. Jedan je da bude većeg kapaciteta kako bi se moglo pohraniti više podataka. Drugi je zahtjev za brzinom kako bi se povećala brzina čitanja, odnosno pisanja podataka, a time i brzina rada računala. Ta dva razloga teško je uskladiti jer i cijena po jedinici kapaciteta raste s povećanjem brzine njezina rada. Stoga se memorija današnjih računala dijeli hijerarhijski u dvije razine: 1. Radnu (unutarnju, glavnu) memoriju pred kojom je zahtjev da bude čim brža. Ta se memorija, s obzirom na postojanost podataka, može podijeliti u dvije osnovne skupine: memorija iz koje se podaci i programi mogu čitati i u koju se mogu zapisivati tijekom rada – RAM (Random Access Memory), memorija iz koje se podaci i programi mogu samo čitati – ROM (Read Only Memory). 2. Memoriju za pohranjivanje podataka (vanjsku, pomoćnu) pred kojom je zahtjev da prvenstveno ima čim veći kapacitet. Brzina rada raste proporcionalno s visinom piramide, dok je kapacitet obrnuto proporcionalan. Velike razlike u brzini rada RAM memorije i procesora koji iz memorije čita, odnosno u nju piše podatke, kod današnjih računala nastoje se prevladati predmemorijama (cache). Predmemorija ima mnogo manji kapacitet od RAM memorije, ali je napravljena u tehnologiji koja je od nje brža. Temeljni način rada sastoji se u tome da pri svakom zahtjevu procesora za podacima iz RAM memorije, upravljači sklop predmemorije provjerava

[31] Ribarić, Op.cit. (bilj.1).

nalazi li se traženi podatak u njoj. Ako se nalazi, podatak se može isporučiti. Budući da je brzina rada predmemorije veća od brzine rada radne memorije, time se povećava brzina dobivanja podataka od procesora. Ako se podatak ne nalazi u predmemoriji, procesor počinje čitati traženi podatak iz RAM memorije. Istovremeno s prijenosom traženih podataka iz RAM memorije u procesor, prenosi se i mnogo veća skupina podataka iz RAM memorije u brzu predmemoriju. O uspješnosti predviđanja koje će podatke u sljedećem trenutku trebati procesor, ovisi i stvarno povećanje brzine dostupnosti do podataka. Kod današnjih računala postoji više hijerarhija predmemorije koja se ugrađuje između procesora i RAM memorije tako da se najviša hijerarhija manjeg kapaciteta (nekoliko kilobytea) ugrađuje u sam procesor (L1 cache), dok se sljedeća razina, čiji kapaciteta se izražava u megabitima (L2 cache), nalazi na matičnoj ploči. Kod nekih procesora, osim L1 cache, sve se više i L2 cache počinje uključivati u njihovu arhitekturu. U tom slučaju nova razina predmemorije, koja se nalazi na matičnoj ploči, naziva se L3 cache. Predmemorija se ugrađuje i između radne memorije i memorije za pohranjivanje podataka. Smještena je na samim jedinicama za pohranjivanje podataka, izražena u RAM tehnologiji, ali puno manjeg kapaciteta od kapaciteta jedinica vanjske memorije. Količina i vrsta memorije koju sadrži svako računalo ovisi o njegovoj kategoriji i namjeni.[32]

Radna (unutarnja) memorija nalazi se na osnovnoj ploči računala. Osim unutarnje memorije, na osnovnoj ploči nalazi se i procesor, dok su svi ostali dijelovi računala spojeni na nju. Izrađena je u poluvodičkoj tehnologiji. Pri obradi podataka, procesor podatke koji se trebaju obraditi, kao i naredbe koje definiraju obradu koja će se izvršiti, može dohvatiti (pročitati) samo iz unutarnje memorije računala. RAM memorija računala služi za privremeno pohranjivanje podataka i naredaba programa koji se trenutačno izvodi. Izgrađena je od elektroničkih sklopova – čipova. Osnovne karakteristike RAM memorije su njezin kapacitet i brzina rada. Suvremene RAM memorije građene su od poluvodičkih elemenata (integriranih krugova) izgrađenih u CMOS tehnologiji.[33]

[32] Tudor, M. (2003.), *Osnove primjene računala,* Sveučilište u Rijeci, Rijeka.
[33] Ibid.

4.2. HDD

Tvrdi disk (eng. Hard Disk) sekundarna je jedinica za pohranu podataka u računalima. Tvrdi diskovi su se pojavili na tehnološkoj sceni 1956. godine, kao izum tvrtke IBM, i nakon svog izlaska na tržište postala dominantna tehnologija za sekundarno pohranjivanje podataka u tipičnim računalnim sistemima tokom 1960-tih. Nedavne inovacije u tehnologijama su tvrdi diskovi koji rabe tehnologije flash memorija i NAND tehnologije, i polako počinju potiskivati magnetske diskove s pojedinih sustava kao što su prijenosnici. Tvrdi diskovi zbog neprekidnog razvoja i usvajanja novih tehnoloških rješenja još su najprivlačniji kao tehnologija za sekundarno pohranjivanje podataka što se tiče odnosa sljedećih svojstava: nosivosti, brzine prijenosa podataka i cijene.[34]

HDD diskove opisujemo najčešće s 4 parametra: formatom, kapacitetom, brzinom vrtnje i količinom predmemorije. Disk može biti u dva formata, veličine 2.5 incha i 3.5 incha. Količina podataka nam je bitna kako bismo znali koliko ćemo memorijskog prostora imati na raspolaganju za pohranu podataka. Brzina vrtnje će utjecati na brzinu pisanja i čitanja podataka s diska i te su veličine proporcionalne. Količina predmemorije će također utjecati na brzinu diska iz razloga što se podaci zapisuju i čitaju s pokretne glave. Često se čeka da igla dođe na mjesto zapisa podataka, a upravo tu predmemorija pomaže da se to vrijeme smanji.[35]

Trenutno su na tržištu osobnih računala prisutne tri vrste diskova za pohranu podataka – tvrdi diskovi (HDD), solid state diskovi (SSD) te tzv. hibridni diskovi (SSHD). HDD diskovi su građeni od. magnetizirane metalne ili keramičke ploče koja se vrti, a glava za upis i čitanje se nalazi na „ruci“ koja osigurava pristup sektoru i stazi. Pružaju više prostora za pohranu za isti novac od SSD diskova, no sporiji su, te su osjetljiviji na oštećenja upravo radi toga što imaju pokretne dijelove. S druge strane SSD (Solid State Disk) diskovi nemaju pokretnih dijelova te su time otporniji na eventualna oštećenja nastala kao posljedica udaraca ili pomaka, pa su puno bolje rješenje za prijenosna računala. U isto su vrijeme brži od HDD diskova, no skuplji su od njih. Obično se označavaju s količinom kapaciteta, brzinom pisanja i čitanja podataka, te protokolom za prijenos podataka. SSD diskovi imaju ograničen broj pisanja i brisanja podataka, tako da će jednostavno izgubiti svoju funkcionalnost nakon nekog vremena. Srećom, danas je

[34] Ribarić, Op.cit. (bilj.1).
[35] Čerić, V., Varga, M., (2004.), *Informacijska tehnologija u poslovanju*, Element, Zagreb.

taj broj iznimno velik, tako da se prosječni korisnici opće namjene ne trebaju time opterećivati. Hibridni diskovi su diskovi koji uz HDD disk imaju integriranu i određenu količinu brze memorije koja se koristi kod SSD diskova, te na taj način raspolažu boljim performansama od tradicionalnih HDD diskova.[36]

4.3. Računalne mreže

Računalna mreža je skupina dva ili više međusobno povezanih računala koji dijele neke resurse (podatke, sklopove, programe...). Računala se smatraju povezanima ako mogu razmjenjivati informacije. [37]

Razvojem i širokom primjenom osobnih računala, javila se mogućnost kreiranja velike količine programa i multimedijalnog sadržaja (teksta, grafike, zvučnog i video sadržaja) koje je bilo poželjno dijeliti sa drugim korisnicima računala. Povezivanjem računala u mrežu, putem medija kojim su računala povezana (bakreni vodič, optičko vlakno, bežični prijenos), u kraćem vremenskom periodu moguće je prenijeti veću količinu podataka. U samom početku razvoja računalnih mreža ta brzina prijenosa podataka je bila podosta ograničena (u odnosu na današnje brzine). Poruke i podaci su se mogle prenositi u tekstualnom obliku brzinom od nekoliko znakova u sekundi– bps. On često predstavlja samo teorijsku vrijednost. Propusnost predstavlja realnu vrijednost količine prenesenih podataka u jedinici vremena. Daljnjim razvojem mreža povećana je propusnost i ostvaren je prijenos veće količine podataka i multimedijalnog sadržaja. Sudionici komunikacije u nekoj mreži nazivaju se čvorovima mreže. Čvor mreže je svako mjesto u mreži sposobno predavati podatke ostalim čvorovima mreže ili primati podatke od njih (ili oboje). Svaki čvor mreže ima jedinstvenu adresu kako bi podatci mogli stići do njega i kako bi se znalo tko je podatke poslao. Čvorovi računalne mreže u međusobnoj komunikaciji koriste komunikacijske protokole. Njihovim razvojem i ubrzanjem procesora tijekom tehnološkoga napretka u posljednjih 30-ak godina nastale su suvremene računalne mreže, koje čine okosnicu današnje informacijske infrastrukture.[38]

[36] Ibid.

[37] Sadiku, M., Musa, S.M., (2013.), *Performance Analysis of Computer Networks*, Springer International Publishing.

[38] Pralas, T. (2004) *Računalne mreže – pasivna i aktivna oprema,* Sys portal, Carnet, Zagreb, dostupno na https://sysportal.carnet.hr/node/374 pristupljeno 15.08.2019.

5. Procesori budućnosti

Posljednjih desetljeća veliki broj puta postavilo se pitanje postoji li fizičko ograničenje Mooreovog zakona, no svako malo se pojavi nova tehnologija koja i dalje probija granice prema Mooreovoj ideji iz 1956. Čini se kako nas očekuje vrlo uzbudljivo tehnološko vrijeme u narednih nekoliko godina, jer proizvodnja novih procesora s novim karakteristikama otvara brojna nova vrata u razvoju različitih uređaja u bliskoj budućnosti. Osim same računalne tehnologije, sukladno Mooreovom zakonom tehnološki se razvijaju i mnoga druga područja ljudske prakse, a koja uključuju zdravstvenu zaštitu, lijekove i genetiku.

5.1. Koncepcijska i materijalna osnova

Buduće arhitekture procesora – mnogojezgrene arhitekture nameću se kao pravi put za razvoj procesorske snage koji može pratiti buduće zahtjeve tržišta. Mnogojezgrene arhitekture se razvijaju u smjeru homogenih i heterogenih arhitektura. Dok se kod homogenih arhitektura ističe jednostavniji razvoj i korištenje procesorskih jezgri, kod heterogenih arhitektura pojedine jezgre su specijalizirane kako bi mogle optimalno obrađivati podatke. Obrada podataka se koristi u različitim domenama suvremene industrije i neizbježno je korištenje snažnih procesorskih arhitektura. Značajnije domene u kojima se koristi paralelna obrada podataka i koje svakim danom zahtijevaju sve više računalnih resursa su obrada multimedije, edukacijske, istraživačke, medicinske i vojne domene[39]

Kako sada stvari stoje, 3 su područja koja će obilježiti budućnost tehnologije:
Prvo područje je definitivno software.
Drugo područje su takozvani oblak (eng. cloud) i internet. Kada su se računala pojavila na tržištu, njihove mogućnosti su uvelike ovisile o karakteristikama procesora koji su ih pogonili. Danas to više nije tako. I bez značajnog poboljšanja hardware-a, današnja računala imaju na raspolaganju goleme računalne resurse samom činjenicom da su spojeni na internet. Putem interneta, dostupni im postaju mnogi servisi, informacije i usluge, koje sve više i više postaju dominantna značajka pri odabiru hardware-a. Tvrtke će se, sve više okretati prema računalstvu u oblaku. Tvrtke poslužitelji poput Microsofta, Amazona, Googlea, ulažu ogromne resurse u

[39] Hofman, Op.cit. (bilj. 21)

takozvani oblak, nudeći sve više spremišnog prostora, procesorske snage i usluga krajnjim korisnicima.[40]

Treće područje je nova arhitektura procesora, koji se sve više okreću od procesora opće namjene ka specijaliziranim procesorima. Osim specijaliziranih procesora, poput onih koji se bave obradom slike, još jedna alternativa današnjoj arhitekturi procesora jesu kvantna računala, koja mogu istovremeno obrađivati ogromne količine podataka zahvaljujući neobičnim svojstvima kvarkova. Obje arhitekture idu u istom smjeru - ugrađivanju u specijalizirani hardware čije je resurse moguće koristiti putem interneta, u oblaku.[41] IBM je jedan od lidera na području kvantnog računalstva. Nedavno su predstavili svoje prvo komercijalno djelomično kvantno računalo koje se može koristiti izvan laboratorija. Sada razmišljaju o tome kako pratiti napredak ovih računala i odrediti u kojem trenutku ona postižu tzv. "kvantnu prednost", tj. kada se može sa sigurnošću utvrditi da su u performansama ili manjoj potrošnji resursa naprednija od klasičnih računala. Stoga su istraživači iz odjela IBM Research osmislili niz benchmarka po kojima mogu evaluirati brzinu i iskoristivost kvantnih računalnih sustava. Prva računala koja su na ovaj način testirali su IBM Q System One i dosadašnja IBM-ova kvantna računala. Uzimajući u obzir broj kubita koji se koriste, ali i njihove performanse i stvarnu iskoristivost, osmislili su pokazatelj nazvan kvantni volumen. Prema ovom izračunu, njihova računala 2017. godine imala su kvantni volumen od 4, prošle godine on je iznosio 8, a nedavno predstavljeni Q System One bilježi rezultat od 16. Kako bi postigli kvantnu prednost nad klasičnim računalima u sljedećoj dekadi, u IBM-u smatraju da se kvantni volumen mora udvostručiti svake godine – tj. da se razvoj ove tehnologije mora nastaviti u ritmu kakav je zabilježen u posljednje dvije godine.[42]

Daljnji razvoj procesora u budućnosti okreće se prema razvoju više procesorskih jezgri unutar jednog procesora što omogućuje nastavak povećanja procesorske snage bez povećavanja frekvencije rada procesora.

---

[40] Baček, T.(2016.), *Želite li biti dio tehnološke budućnosti morat ćete stalno biti online,* dostupno na http://znano.st/znanost-tehnologija-i-energija/2/zelite-li-biti-dio-tehnoloske-buducnosti-morat-cete-stalno-biti-online/2067 pristupljeno 10.08.2019.

[41] Komarić, B. (2018.) *Proizvodnja procesora u 7nm tehnologiji? Zaboravite na to – stižu 5nm procesori 2019.,* dostupno na https://www.racunalo.com/proizvodnja-procesora-u-7nm-tehnologiji-zaboravite-na-to-stizu-5nm-procesori-2019/ pristupljeno 12.08.2019.

[42] Vrbanus, S. (2019.) *IBM predlaže kvantni Mooreov zakon,* dostupno na https://www.bug.hr/tehnologije/ibm-predlaze-kvantni-mooreov-zakon-8337 pristupljeno16.08.2019.

Kompanija AMD je najavila kako upravo razvija nove procesore u 7- nanometarskoj proizvodnoj tehnologiji. U praksi to znači kako su ti procesori manji po dimenzijama i potrošnji energije, ali su u određenom postotku i jači. Jedan od najpoznatijih proizvođača procesora za pametne telefone, TSMC, najavili su svoje nove procesore razvijene u 5-nanometarskoj tehnologiji, a koji kreću u masovnu proizvodnju krajem 2019. godine, dok se prve ugradnje očekuju 2020. godine. TSMC će u razvoj novih procesora investirati čak 21 milijardu eura.[43]

5.2. Grafenski procesori

Grafen je materijal pravljen isključivo od atoma ugljika poredanih u listove debljine samo jednog atoma i koji se sve više nameće kao materijal mnogostrukih primjena zbog svojih elektroničkih, strukturalnih i kemijskih karakteristika. Grafen je otkriven na sveučilištu u Manchesteru još davne 2004 godine. Svojstva grafena su interesantna zbog mogućnost izrade sklopova koji će biti manji i brži od onih na siliciju. Ključna prednost grafena leži u brzini prolaska elektrona što omogućava postizanje visokih frekvencija bez znatnijeg mijenjanja dimenzija. Također tranzistori izrađeni od grafena, za razliku klasičnih silicijskih, imaju sposobnost samohlađenja, odnosno na mjestu grafenskih kontakata s metalom termoelektrični efekt snižava temperaturu elemenata. Kod grafenskih uređaja, na mjestima gdje se grafenski tranzistori dodiruju s metalnim konektorima dolazi do tremoelektričnog efekta hlađenja te se na tim mjestima temeperatura tranzistora smanjuje, a ne povećava. „Grafen je najtanji materijal, debljine samo jednog atoma, jedan sloj grafena je 200 puta jači od željeza, može se rastegnuti 20%, provodi struju bolje od bakra, provodi toplinu bolje od bilo kojeg materijala, struktura grafena omogućuje 97,7% protok svjetlosti, toliko je gust da niti jedan atom ne može proći i veoma je otporan na kiseline.“[44]

U IBM-u su znanstvenici krajem 2008. godine napravili grafenski tranzistor koji funkcionira dobro na 26GHz pri duljini kanala od 150nm. 2010. godine su u IBM-u brzine grafenskih tranzistora digli na 100GHz, što je nadjačalo silicijskih tranzistora s zasunom iste veličine. Nedugo nakon toga je IBM objavio da je oborio svoj vlastiti brzinski rekord za grafenske

[43] Komarić,, Op.cit. (bilj.41)
[44] Galić, D., (2011.) *Grafenski tranzistori – sami se hlade*, dostupno na https://www.bug.hr/vijesti/grafenski-tranzistori--sami-se-hlade/107804.aspx pristupljeno 17.09.2019

tranzistore sa 100 na 155GHz. IBM je investirao 3 milijarde dolara u istraživanje o grafenu i očekuje se da će procesori sa grafenom biti na tržištu do 2019. godine.[45]
Prvi Intel-ov grafenski tranzistor dostigao je brzinu od 100GHz, a proračuni kažu da bi prvi procesor dobiven kombiniranjem silicija i grafena mogao postići brzinu od 1000GHz. Osim pojedinog tranzistora istraživanjima su uspjeli skrojiti i nizove od stotinu grafenskih tranzistora u jednom čipu. još jednu prednost ove vrste tranzistora. U eksperimentu je primijećen efekt u kojem grafenski tranzistor u dodiru s metalnim kontaktima ima veće termoelektrično hlađenje od topline izazvane prolaskom struje kroz otpornike. Budući čipovi zasnovani na ovoj tehnologiji će zahtijevati manja hlađenja ili će moći raditi bez hlađenja, takva pojava je nazvana samohlađenje.[46]

Grafenski tranzistori po pitanju stvarne upotrebe još su uvijek daleko od masovne proizvodnje, kako zbog tehničkih problema tako zbog ekonomske isplativosti tranzistora baziranih na siliciju. Tehnologija još uvijek nije u stanju izraditi pravi mikroprocesor od grafenskih vlakana zbog određenih svojstava tog materijala. Masovna proizvodnja najveća je prepreka sa kojom se bore pobornici upotrebe grafena u najrazličitije svrhe. Do prije nekoliko godina jedini način bilo je odvajanje slojeva grafena sa grafita uz pomoć agresivnih kemikalija. Najveći problem je što kemikalije trajno mijenjaju svojstva grafena ili se odlubljuju komadi debeli 5–10 grafenskih listića. Sve ovo je još veoma sporo, za nekoliko sati se na ovaj način dobije tek nekoliko kvadratnih centimetara čistog grafena.[47]

U budućnosti ćemo vidjeti hoće li grafen ostvariti velika očekivanja. Moguće je da će biti problema u proizvodnji ili čak cijena proizvodnje, pa bi neke od mogućih upotreba bile nepraktične, ali ako će i mali dio potencijala grfena biti realiziran, promijenit će svijet u kojem živimo.

5.3. Tehnološka ograničenja

Detaljnija analiza mnogih stručnjaka stanja u tehnološkom svijetu daje naslutiti da se Mooreov zakon približava kraju. Direktna posljedica mogućeg kraja Mooreovog zakona je smanjenje veličine pojedinog procesora zbog ograničenja površine procesora. U skladu s Mooreovim

[45] IBM, Op.cit. (bilj.26)
[46] Intel , Op.cit. (bilj.7)
[47] Galić, D., Op.cit. (bilj.44)

zakonom procesori su se uglavnom svake četiri godine smanjivali na polovicu svoje veličine. Trenutno se na tržištu nalaze Intelovi procesori koji imaju tranzistore rađene u tehnologiji od 14 nanometara. Fizička ograničenja tehnologija u kojima se izrađuju procesori onemogućuju nastavak trenda minijaturizacije. Manji tranzistori više ne vode nužno jeftinijim i boljim procesorima jer se došlo do krajnjih granica mogućnosti čipova baziranih na siliciju. No, to nikako ne znači da će doći do zastoja u napretku tehnologije, već samo do njegova usporavanja i preusmjeravanja fokusa. Jedan od ključnih izazova inženjerskih budućih nanostupanjskih tranzistora je dizajn vrata. Kako se dimenzija uređaja smanjuje, upravljanje protokom struje u tankom kanalu postaje sve teže.[48]

Ako govorimo o silikonskim poluprovodnicima granica je blizu. Razlog tome nije činjenica da tehnologija neće moći nastaviti taj trend, već da takav proces proizvodnje neće više biti ekonomski isplativ. Dakle, kad se dođe do 5-nanometarske tehnologije sljedeće "dupliranje" bi podrazumijevalo proces proizvodnje na gotovo atomskom nivou, a cijena takve tehnologije izrade jednostavno ne bi bila ekonomski održiva na komercijalnom nivou. Silikonske čipove na 2- ili 3-nanometarskoj tehnologiji će biti moguće napraviti, ali bi bili toliko skupi da bi bili neisplativ proizvod. Dakle, silicijski čipovi se bliže svojim limitima, makar što se širokog tržišta i komercijalne upotrebe tiče. Sa druge strane, već se uveliko radi na potpuno novim tehnologijama i suštinski drugačije baziranim mikroprocesorima koji će biti daleko efikasniji i komercijalno daleko dostupniji širokom tržištu. IBM, Intel, Caltech samo su neka od velikih imena koja rade na razvoju nove vrste čipova, biotehnologijom, uz primjenu organskih osnova, prirodnih molekula i nanocjevčica, što se smatra budućnošću. Ta tehnologija, kad postane dostupna, će napraviti revoluciju u mogućnostima i brzini mikročipova, i potpuno "digitalizirati" životni ambijent ljudi u ne tako dalekoj budućnosti.[49]

Negativna implikacija Mooreovog zakona je zastarijevanje, to jest, kako se tehnologije nastavljaju ubrzano poboljšavati, ta poboljšanja mogu biti dovoljno značajna da ubrzaju zastarjele tehnologije prethodnika. U situacijama u kojima su sigurnost i sposobnost preživljavanja hardvera ili podataka od najveće važnosti, ili u kojima su resursi ograničeni, brzo zastarijevanje može predstavljati prepreku za nesmetano ili kontinuirano poslovanje.[50]

[48] Nambiar, R., Poess, M.(2011.), *Transaction Performance vs. Moore's Law:* A Trend Analysis, Performance Evaluation, Measurement and Characterization of Complex Systems, LNCS, volume 6417.
[49] Ibid.
[50] Ibid.

5.4. Ekonomska ograničenja

Intel je potvrdio da se Mooreov zakon nastavlja primjenjivati i da, u skladu s njim, Intel nastavlja uvoditi nove tehnološke procese svake dvije godine. Ključ uspjeha Intela u tom smjeru su godišnja ulaganja od više milijardi dolara u istraživanje i razvoj, kontinuirana modernizacija i proširenje proizvodnih kapaciteta. No budući da se trošak računalne moći potrošača smanjuje, trošak proizvođača da ispuni Mooreov zakon slijedi suprotan trend: troškovi istraživanja i razvoja, proizvodnje i testiranja stalno su rasli sa svakom novom generacijom čipova. Rastući troškovi proizvodnje važan su razlog za održavanje Mooreovog zakona. Složenost za minimalne troškove komponenti povećala se po stopi od otprilike dva puta godišnje. Naravno, u kratkom roku se može očekivati da će se ta stopa nastaviti, ako ne i povećati. Dugoročno gledano, stopa povećanja je malo neizvjesnija, iako nema razloga vjerovati da neće ostati gotovo konstantna najmanje 10 godina.[51]

Cijena informacijske tehnologije (IT), računala i periferne opreme,, u prosjeku se smanjio za 16% godišnje tijekom pet desetljeća od 1959. do 2009. godine. Brzina se ubrzala, međutim, na 23% godišnje u razdoblju 1995.-1999., što je potaknuto bržim IT inovacijama, a kasnije je usporen na 2% godišnje u razdoblju od 2010. do 2013. godine. Zastarjelost ponekad može biti poželjna za tvrtku koja može imati ogromnu dobit od redovite kupnje često skupe nove opreme umjesto zadržavanja jednog uređaja na duže vrijeme. Industrija je toga svjesna i mogu iskoristiti planirano zastarijevanje kao metodu povećanja profita. [52]

Ubrzanje u napretku poluvodiča pridonijelo je porastu rasta produktivnosti SAD-a, koji je u razdoblju od 1997. do 2004. dostigao 3,4% godišnje, premašivši 1,6% godišnje tijekom razdoblja 1972.-1996. Brojne studije otkrile su da je uzrok ubrzanja produktivnosti do tehnoloških inovacija u proizvodnji poluvodiča koje su naglo smanjile cijene takvih komponenti i proizvoda koji ih sadrže.[53] Isto tako, stopa poboljšanja cijena mikroprocesora prilagođene kvalitete varira i nije linearna. Poboljšanje cijena mikroprocesora ubrzalo se krajem 1990-ih, dosegnuvši 60% godišnje u odnosu na tipičnu stopu poboljšanja od 30% tijekom godina i kasnije. Prijenosni mikroprocesori osobito su se poboljšali za 25–35% godišnje

[51] Intel, Op.cit. (bilj.7)
[52] Nambiar, Op.cit. (bilj.48)
[53] Ibid.

u razdoblju 2004.–2010., a usporili su na 15–25% godišnje u razdoblju 2010.–2013. Procjenjuje se da je vrijednost tehnologija koje su na bilo koji način povezane s Mooreovim zakonom u 2014. godini iznosila 13 trilijuna dolara, što je petina vrijednosti imovine svjetske ekonomije.[54]

6. Zaključna razmatranja

Napredak tehnologije neće stati zbog prestanka važenja Mooreova zakona. On će (možda) biti usporen, ali će i dalje ići naprijed. Potreba za novim kriterijima napretka dovela je i do promjene u mentalnom sklopu krajnjih korisnika, koji pod utjecajem tehnološke industrije sada stvari ne gledaju kroz takt procesora, već kroz pristup uslugama.

Posljedice Mooreova zakona vidimo svuda oko sebe, u moru tehnoloških čuda od kojih mnoga svi svakodnevno koristimo. Ekspanzija primjene Mooreovog zakona ogleda se danas na cjelokupnom svjetskom gospodarstvu, koje je jednostavno nezamislivo bez računala svih vrsta. No, detaljnija analiza stanja u tehnološkom svijetu daje naslutiti da se Mooreov zakon približava kraju. Neki analitičari čak predviđaju da će "kraj ere Moorovog zakona" dovesti do nove velike depresije. Manji tranzistori više ne vode nužno jeftinijim i boljim procesorima jer se došlo do krajnjih granica mogućnosti čipova baziranih na siliciju.
Na ovaj ili onaj način, otkrivajući učinak Moorovog zakona u svim novim područjima visoke tehnologije, samo se potvrđuje postojanje stalnog, vrlo brzog napretka tehnologije, a time i cjelokupnog svjetskog gospodarstva.

Ograničenja s kojima se industrija danas susreće dovode do promjena u pristupu tehnologiji. Dugo je vremena kriterij napretka slijedio Mooreov zakon i njegovo predviđanje o udvostručavanju procesorske snage svake dvije godine. Svake godine ili svake druge dva puta kompleksniji čip otvara vrata novih primjena. Čip je otvarao vrata i mikroprocesoru i webu i internetu. No, kako je takav pristup doveo do zasićenja, napredak tehnologije počeo je poprimati drugačiji smjer, i sada je jasno da je budućnost u oblaku i povezanosti, a ne više u sirovim performansama hardware-a. Granice su određene fizičkim i tehničkim mogućnostima raspoloživih materijala i sustava. Ubrzano se radi na razvijanju novih, manjih čipova temeljenih na drugim materijalima, kao i na razvoju višeprocesorskih jezgri. Tehnologija neće stati samo će usporiti svoj rast.

[54] Jargini, Op.cit. (bilj.28)

Literatura

1. Agencija za informatičke i komunikacijske usluge, Procesor ili CPU, dostupno na https://www.aiku.info/procesor-ili-cpu-sta-bi-trebalo-da-znam-o-njemu/

2. Baček, T.(2016.), *Želite li biti dio tehnološke budućnosti morat ćete stalno biti online,* dostupno na http://znano.st/znanost-tehnologija-i-energija/2/zelite-li-biti-dio-tehnoloske-buducnosti-morat-cete-stalno-biti-online/2067 pristupljeno 10.08.2019.

3. Barić, J. (2019.) *Povijest CPU,* dostupno na http://adria.fesb.hr/~josibari/seminar/povijest.html pristupljeno 02.08.2019.

4. Betweenmates, (2020.), Von Neumann i Harvard Architecture, dostupno na https://hr.betweenmates.com/difference-between-von-neumann-and-harvard-architecture-7448 pristupljeno 20.07.2020.

5. Čerić, V., Varga, M., (2004.), *Informacijska tehnologija u poslovanju*, Element, Zagreb.

6. D., Z., (2018.), *Osnovno o procesorima: što su to jezgre, Hyper- Threading i koja je prednost više jezgri?,* dostupno na https://pcchip.hr/hardver/komponente/osnovno-o-procesorima-sto-su-to-jezgre-hyper-threading-i-koja-je-prednost-vise-jezgri/ pristupljeno 07.08.2019.

7. Duvnjak, B. (2015.) I 50 godina od osnutka Mooreov zakon i dalje mijenja i tehnologiju i svijet, dostupno na https://www.telegram.hr/biznis-tech/i-50-godina-od-osnutka-mooreov-zakon-i-dalje-mijenja-i-tehnologiju-i-svijet/ pristupljeno 10.08.2019.

8. Galić, D., (2011.) *Grafenski tranzistori – sami se hlade,* dostupno na https://www.bug.hr/vijesti/grafenski-tranzistori--sami-se-hlade/107804.aspx pristupljeno 17.09.2019

9. Gelo, R.*, Kraj Mooreovog zakona*, dostupno na http://www.sapmag.com.hr/show_article.php?id=175 pristupljeno 07.08.2019.

10. Hofman, D., Žagar, M., (2016.), *Procesori budućnosti u Hrvatskoj*, Godišnjak Akademije tehničkih znanosti Hrvatske, Zagreb.

11. IBM, dostupno na www.ibm.com. Pristupljeno 14.08.2019.

12. Informatika, *Procesor,* dostupno na https://informatika00.weebly.com/procesor.html pristupljeno 02.08.2019.

13. Intel, dostupno na www.intel.com, pristupljeno 03.08.2019.

14. Jargini, P. (2017.) *How to Successfully Overcome Inflection Points, or Long Live Moore's Law,* Computing in Science and Engineering 19(2).

15. Komarić, B. (2018.) *Proizvodnja procesora u 7nm tehnologiji? Zaboravite na to – stižu 5nm procesori 2019.,* dostupno na https://www.racunalo.com/proizvodnja-procesora-u-7nm-tehnologiji-zaboravite-na-to-stizu-5nm-procesori-2019/ pristupljeno 12.08.2019.

16. Ljubić, A. (2019. *Povijesni razvoj procesora*, dostupno na https://raf.edu.rs/citaliste/hardver/3707-istorijski-razvoj-procesora pristupljeno 10.08.2019.

17. Moore, G. (1965.), *Cramming More Components onto Integrated Circuits*, Electronics, Vol. 38, No. 8.

18. Moore, G.(2006.), *Chapter 7: Moore's law at 40*", *Understanding Moore's Law: Four Decades of Innovation*, Chemical Heritage Foundation

19. Nambiar, R., Poess, M.(2011.), *Transaction Performance vs. Moore's Law:* A Trend Analysis, Performance Evaluation, Measurement and Characterization of Complex Systems, LNCS, volume 6417.

20. Pralas, T. (2004) *Računalne mreže – pasivna i aktivna oprema,* Sys portal, Carnet, Zagreb, dostupno na https://sysportal.carnet.hr/node/374 pristupljeno 15.08.2019.

21. Ribarić (2011.), *Građa računala, Arhitektura i organizacija računarskih sustava*, Algebra, Zagreb

22. Sadiku, M., Musa, S.M., (2013.), *Performance Analysis of Computer Networks*, Springer International Publishing.

23. Šešlek, M. (2019.), Nova Intelova linija procesora bez integrirane grafike, dostupno na https://www.vidilab.com/ pristupljeno 19.07.2020.

24. Tudor, M. (2003.), *Osnove primjene računala,* Sveučilište u Rijeci, Rijeka.

25.Vrbanus, S. (2019.) *IBM predlaže kvantni Mooreov zakon,* dostupno na https://www.bug.hr/tehnologije/ibm-predlaze-kvantni-mooreov-zakon-8337 pristupljeno16.08.2019.

Popis slika i tablica

Slika 1. Von Neumannova struktura
Slika 2. Moorov zakon
Tablica 1. "Rast" u broju tranzistora na jednom čipu