

Univerza v Ljubljani
Fakulteta za računalništvo
in informatiko



14. Optični računalnik

II.Stopnja RI, 2019/2020

Nosilec: prof.dr.Miha Mraz

8.januar
2020



1. Uvod

- Koncept: *All optical computing (computing at the speed of light)*
- Dva različna cilja:
 - *All optical computer*; cilj sam po sebi ni smislen – govori le o mediju - nosilcu
 - Realnejši cilj: zvečanje performans treh osnovnih funkcij računalnika [3]
- Optični računalnik:
 - namesto elektr.toka uporablja kot nosilni medij tok svetlobe (funkcijo elektronov zamenjajo fotoni) – hitrost 10x večja (300.000km/sec)
 - funkcije nosilnega medija:
 - procesiranje (še v povojih)
 - shranjevanje (že prisotno)
 - prenos podatkov (že prisotno)



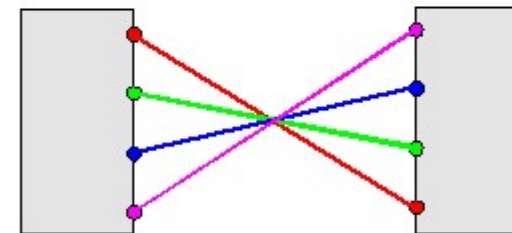
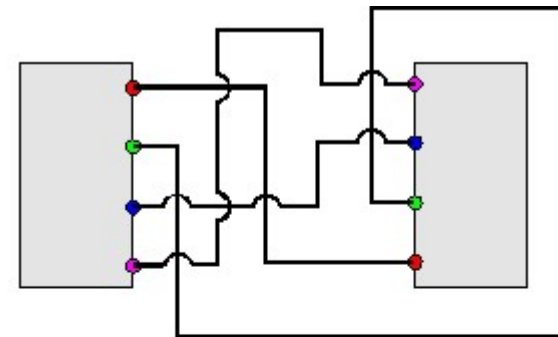
- Tekmovanje: optika - elektronika
- Tok fotonov (prenosni medij) ima drugačne lastnosti kot tok elektronov:
 - Brez pojavov interference, prisluha, itd.
 - Po istem mediju lahko neodvisno potuje več različnih "barv" svetlob (svetlobnih valovanj različnih valovnih dolžin) \Rightarrow na enem mediju imamo lahko več podatkovnih kanalov (visoka širokopasovna prepustnost)
 - Nizka izgubnost prenosa



- Tendence:
 - Nadomeščanje posameznih delov računalnika z optičnimi komponentami – ekvivalenti \Rightarrow optični računalnik, ki procesira nad binarnimi podatki (z razliko od prejšnjih bolj alternativnih pristopov k procesiranju)
 - “*Best short term*” pristop za dvig zmogljivosti rač.sistemov
 - Realizacija “optičnega tranzistorja”, kot tvorca logičnih vrat optičnega računalnika
 - Optična IC in optične povezave



- Možnost križanja različnih svetlobnih signalov (pri vejanju električnega toka to ni mogoče) [2]:
- Možnost prehoda iz 3-D na 2-D in minimizacija velikosti



Electrical crossovers (top) require three dimensions, but optical crossovers (bottom) require only two dimensions because light beams do not interact



- Vrste uporabljenih svetlob:
 - IR svetloba
 - Vidna svetloba različnih valovnih dolžin



2. Optično procesiranje

- *Angl. All-optical transistor*: ciljna platforma za prehod na čiste optične računalnike
 - Kar nekaj patentiranih zasnov, brez realizacije
- Cilj: Iskanje ustrezne interakcije protonov za doseganje intepretacije logične operacije



3. Pomnjenje v "čistem" optičnem računalniku

- Današnje hibridne (optoelektronske) rešitve:
 - CD-ROM, DVD (planarnost pomnjenja)
 - Branje z laserskim žarkom
- Pomnjenje na osnovi fotonike: dinamičen zapis na cikličnem nosilnem mediju (npr. SRL – *semiconductor ring laser*)-> pomnjeni podatek se giblje, kar pomeni, da hipotetično nanj kaže dinamični števec -> problem zaustavitve nosilca - svetlobe
 - Števec nam "pove" čez koliko časa bo podatek na voljo na "sondirnem mestu";



- Hologramski 3-D pomnilnik:
 - kodiranje podatkov v slike – podatki so vidni
 - Velika gostota kodiranja
- Steganografija (angl. *covered writing*) – sorodno področje kriptografiji [4]
 - Kriptografija: sporočilo vidno, a nerazumljivo
 - Steganografija: skrivanje podatkov (sporočil) v navidezno nepomembne nosilce
 - Kaj ima to zveze z optičnim procesiranjem?
 - sporočila se skrije v sliko



4. Optične komunikacije

- Zgodovinsko najstarejše (hibridna tvorba: angl. *fiber optic data transmission*), z sestavnimi deli, ki delujejo na osnovi električnega napajanja; na vseh spojih je potrebna sprememba svetlobnega nosilca v električnega in obratno na izhodu; nosilec prenosa optična vlakna;
- Čisto fotonsko (čisto optično omrežje: all optical network): vsi aktivni deli omrežja (angl. switches, repeaters) znajo rokovati s svetlobnim medijem brez potrebe po električni transformaciji:
 - Zgled funkcije svetlobnega ojačevalnika (nehibridna narava): Erbijevo ojačevalnik (EDFA), uporabljan na velikostnem rangu 100km razdalje



- *Free space optics* (prosto optične povezave):
 - Prenos (angl. *propagation*) optičnih signalov po ozračju s pomočjo laserjev, leč in zrcal;
 - Izvedljiv masovni paralelizem prenosa (angl. *massively parallel data transfer*)
 - Področja uporabe:
 - Implementacija vodil (izogibanje ozkih grl, ideja iz 90.let prejšnjega stoletja)
 - Komunikacije na večjih razdaljah (zgled s TU Graz)



- 1998 (Mitkas et.al., [3]):
 - Polje $32 * 32$ svetlobnih izvorov,
 - Polje $32 * 32$ svetlobnih detektorjev,
 - 1024 kanalni link
 - Velikostni razred realizacije polja: 2x2mm
 - Uporabno kot vodilo za izvajanje paralelnih operacij (s projekcijo na ustrezno lokacije matričnega polja)



- *Free space optical communication (FSO)*: prenos svetlobnega signala po ozračju;
- Slika desno: 8 kanalna laserska sprejemno – oddajna naprava (1 Gbit/sec na razdalji 2km), vir Wikipedia
- Aktualne hitrosti: do 10Gb/sec na kanal v idealnih razmerah
- „*Point to point*“ narava uporabe





- Problemi FSO:
 - Atmosferske motnje (običajno megla, sneg, dež, smog, vidnost med točkama)
 - V tem primeru hitrost upade na nekaj odstotkov deklarirane
- Perspektive FSO:
 - Zmogljive povezave satelit – zemlja – satelit
 - Zmogljive medplanetarne povezave
 - Trenutna optimalna dosegljivost izven zemljine atmosfere: nekaj 100.000 kilometrov pri manjših hitrostih (622 Mbps na relaciji orbita lune, satelit ob zemlji)



- Načini uporabe:
 - „LAN to LAN“ (kampus TU Graz, mestne povezave)
 - Začasne omrežne povezave (ob izpadu obstoječe fiksne linije)
 - Alternativa ali nadgradnja ostalih brezžičnih povezav
 - Redundančne (sekundarne) povezave
 - Povezave z izven atmosferskimi objekti (sateliti, plovila, planeti)
 - Povezave v elektronskih vezjih („inter“ povezave med objekti in „intra“ povezave znotraj objekta)



5. Optični računalnik

- "All-optical" paradigma: brez prisotnosti elektronskih medijev in njihovega koncepta decizije
- Prisotnost svetlobe: logična "1", Odsotnost svetlobe: logična "0"
- Čistih optičnih komponent še ni, obstajajo hibridi (EO: elektro optične naprave)
- Obstaja več prototipov optičnega tranzistorja
- Laboratorijski prototipi za optični računalnik obstajajo: A. Huang, Bell Laboratories, 1990
- Komercialnih rešitev še ni
- Mnogo "optičnih" rešitev ponujajo patenti, kar verjetno nakazuje usmeritev v prihodnosti
- Napovedi:
 - Optični računalnik kot celota čez cca 10 let
 - Optični računalnik nikdar ne bo obstajal (bo venomer hibrid)



6. Ostali primeri optičnih komponent

- Optični preklopnik (angl. optical switch) – komunikacijski gradnik
- Programabilni optični procesor (Lenslet) v hibridnem okolju
- Optični tranzistor (temelji na Fabry-Perot-ovem interferometru)
 - Konstruktivna interferenca (log. 1)
 - Destruktivna interferenca (log. 0)



7. Tehnološke rešitve

- Koloidni kristali, tekoči kristali, Optična vlakna
- Laserske tehnologije (vir valovanja)
- Glavni problem realizacije: natančnost (angl. *Accuracy*)
- **Realnost: razvoj optoelektronskih naprav (izkoriščanje dobrih plati obeh paradigem) -> optoelektronsko procesiranja – optoelektronski računalnik;**



- **Dilema optičnega procesiranja:**
 - **Digitalno optično procesiranje:** uporaba svetlobe za procesiranje digitaliziranih podatkov; smiselno samo v naslednjih primerih:
 - **Problem mora biti paralelne narave**
 - **Logične operacije morajo biti enostavne in jih mora biti malo**
 - **Analogno optično procesiranje** (prednosti: analogni vhodni podatki in analogne operacije); primer: zvezna obravnava barve pixla zajetega v naravnem okolju; RGB paleta ni več potrebna;



- Problem optičnega signala:
 - Slabljenje -> ojačevanje (doprinese šum) -> potrebna regeneracija signala v "čist signal"
 - Regeneratorji so samo OE (opto elektronskega) tipa
 - All optical regeneratorjev ni
- Problem nosilca logične vrednosti v PIC vezjih (angl. *photonic integrated circuits*):
 - Intenzivnost svetlobe?
 - Frekvenca svetlobe (potrebno manjše ojačevanje)?
 - Polarizacija svetlobe (potrebno manše ojačevanje)?



Viri

[1] Feitelson, D. G., Optical Computing: A Survey for Computer Scientists., (ISBN 0-262-061-120), MIT Press 1988.

[2] http://whatis.techtarget.com/definition/0,,sid9_gci283992,00.html

[3] revija Computer, Februar 1998, IEEE.

[4] <http://www.monitor.si/clanek/skrivanje-podatkov-steganografija/123365/?xURL=301>

- Ključna beseda: *All-optical computer*