



CS120 - ORGANIZACIJA RAČUNARA

Magistrale i mehanizam prekida

Lekcija 07

PRIRUČNIK ZA STUDENTE

# CS120 - ORGANIZACIJA RAČUNARA

## Lekcija 07

### *MAGISTRALE I MEHANIZAM PREKIDA*

- ✓ Magistrale i mehanizam prekida
- ✓ Poglavlje 1: I/O magistrale
- ✓ Poglavlje 2: Arbitracija na PCI magistrali
- ✓ Poglavlje 3: PCIe magistrala
- ✓ Poglavlje 4: PCIe stek protokola
- ✓ Poglavlje 5: USB magistrala
- ✓ Poglavlje 6: Pokazne Vežbe
- ✓ Poglavlje 7: Zadaci za samostalni rad
- ✓ Poglavlje 8: Domaći zadatak
- ✓ Zaključak

Copyright © 2017 – UNIVERZITET METROPOLITAN, Beograd. Sva prava zadržana. Bez prethodne pismene dozvole od strane Univerziteta METROPOLITAN zabranjena je reprodukcija, transfer, distribucija ili memorisanje nekog dela ili čitavih sadržaja ovog dokumenta., kopiranjem, snimanjem, elektronskim putem, skeniranjem ili na bilo koji drugi način.

Copyright © 2017 BELGRADE METROPOLITAN UNIVERSITY. All rights reserved. No part of this publication may be reproduced, stored in a retrieval system or transmitted in any form or by any means, electronic, mechanical, photocopying, recording, scanning or otherwise, without the prior written permission of Belgrade Metropolitan University.

## ▼ Uvod

### UVOD

*Magistrala je uređena grupa linija koja služi za povezivanje modula računarskog sistema i to procesora, memorije i ulazno/izlaznih uređaja.*

U ovoj lekciji biće obrađene sledeće teme:

- PCI magistrala, prvobitna magistrala koja je zamenila tada sporu ISA magistralu,
- AGP magistrala, posebna magistrala za grafičku karticu pre pojave PCIe magistrale,
- PCIe magistrala, koja je zamenila prethodne dve, objedinjujući najbolje osobine
- USB magistrala, koja služi za povezivanje Plug-and-play uređaja

Pored samih opisa rada magistrala, fokus biće na steku protokola PCIe magistrale, koja više liči na savremenu mrežnu arhitekturu nego na interfejs za prenos podataka.

Na kraju lekcije dati su zadaci sa izračunavanjem brzine prenosa na različitim magistralama.

## ▼ Poglavlje 1

# I/O magistrale

## ULAZNO/IZLAZNE MAGISTRALNE

*I/O magistrala je deo magistrale koji povezuje ekspanzione slotove sa čipovima kontrolera magistrale.*

Ulazno/izlazna magistrala (en. **Input/Output bus**, **I/O bus**) je deo magistrale koji povezuje ekspanzione slotove sa čipovima kontrolera magistrale. Sve što ide na i od bilo kog uređaja u računarskom sistemu, uključujući video sistem, disk, tastaturu - ide preko ovog dela magistrale.

Zbog prirode uređaja koji se povezuju na I/O magistralu, informacije koje se putuju ovim putem najsporije se prenose.

Osnovna funkcija ulazno-izlazne magistrale je da povezuje sve periferni uređaje sa procesorom.

Čipset (en. **chipset**) koji služi kao kontroler I/O magistrale upravlja:

- Internim portovima i ekspanzionim slotovima (priključna mesta za komponente računarskog sistema koja se obično nalaze na osnovnoj ploči ili nekoj drugoj štampanoj ploči u računarskom sistemu)
- Eksternim portovima (priključna mesta za spoljašnje uređaje)
- Drugim I/O magistralama

U modernim PC računarima koriste se sledeći tipovi tipa I/O magistrala:

- PCI ekspres (en. **PCI Express**, **PCIe**), magistrala koja je zamenila PCI magistralu,
- USB, I/O magistrala za povezivanje sporih uređaja, zamenjuje zastarelu ISA magistralu.

Ranije, pored USB magistrale koristite su se i:

- PCI, multi funkcionalna I/O magistrala velike brzine, AGP, koristi se jedino za grafičke adaptere,

Osim pomenutih magistrala, tu su i magistrale za uređaje spoljašnje memorije, kao što su SATA, a ranije PATA/IDE magistrala, o kojoj će biti reči na posebnoj lekciji.

**Da bi razumeli rad PCIe magistrale, najpre treba razumeti rad PCI i AGP magistrala.**

## PCI (PERIPHERAL COMPONENT INTERCONNECT)

*PCI je prvobitnu magistralu PC-ja projektovao tako što je pomoću mostova dodavao novu magistralu između procesora i prvobitne I/O magistrale.*

Personalni računari imaju otvorenu arhitekturu, tako da mogu da se konfigurišu u skladu sa potrebama korisnika. Za priključivanje dodatnih uređaja postoje standardizovana priključna mesta, *slotovi*.

Slotovi se sastoje od utičnica na koje se priključuju kontroleri različitih jedinica ili same jedinice (kartice).

Dugo je bila zastupljena PCI (en. *Peripheral Component Interconnect*) magistrala sa svojim ekspanzionim slotovima, ali postoje i drugi priključci, u zavisnosti od aktuelnog stanja tehnologije.

PCI je lokalna magistrala za priključivanje dodatnih uređaja), objavljena je u junu 1992. godine kao verzija 1.0. Verzija 2.1 pojavila se početkom 1995. godine. PCI je prvobitnu magistralu PC-ja projektovao tako što je pomoću mostova dodavao novu magistralu između procesora i prvobitne U/I magistrale. Da se ne bi povezivao neposredno na procesorsku magistralu i njenu osetljivu vremensku signalizaciju razvijen je nov skup kontrolerskih čipova za proširenje magistrale.

PCI se često naziva *međuspratnom* magistralom, zato što uobičajenoj konfiguraciji magistrala dodaje novi sloj.

PCI zaobilazi standardnu I/O magistralu; ona koristi sistemsku magistralu da bi povećala radni takt magistrale i da bi iskoristila magistrale podataka procesora.

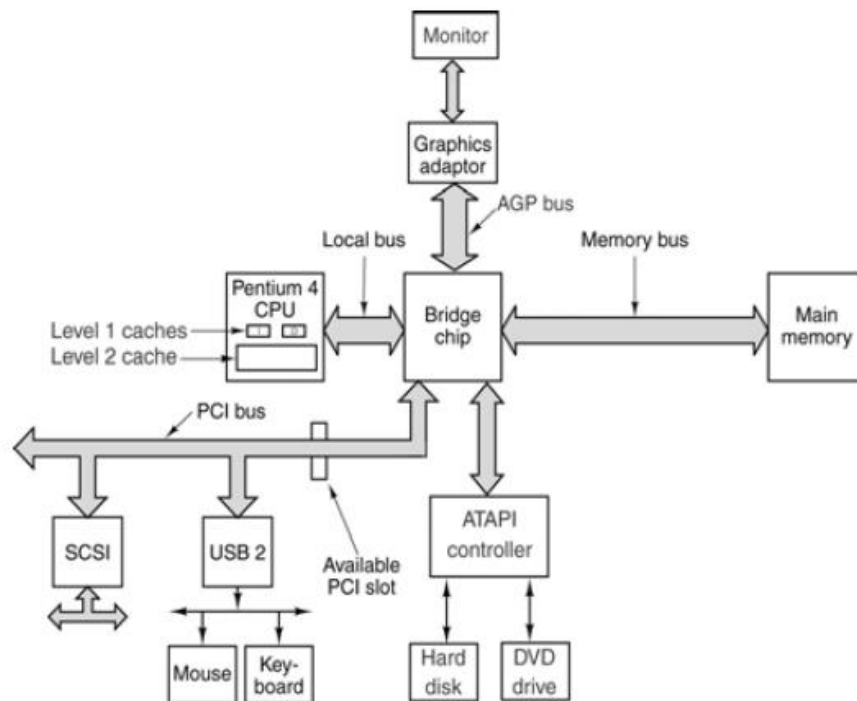
Informacije se preko PCI magistrale prenose brzinom od 33 MHz, sa punom širinom magistrale podataka procesora. Kada se magistrala koristi zajedno sa 32-bitnim procesorom, propusni opseg je 132 MB/s.

## ARHITEKTURA PCI MAGISTRALA

*Informacije se preko PCI magistrale prenose brzinom od 33 MHz, sa punom širinom magistrale podataka procesora.*

Informacije se preko PCI magistrale prenose brzinom od 33 MHz, sa punom širinom magistrale podataka procesora. Kada se magistrala koristi zajedno sa 32-bitnim procesorom, propusni opseg je 132 MB/s.

Kada se magistrala koristi sa 64-bitnim procesorima (Slika 1), propusni opseg se udvostručava (264 MB/s). Stvarne brzine će svakako biti manje. Jedan od razloga za toliko povećanje propusne moći jeste to što je PCI može da radi istovremeno sa procesorskom magistralom. Procesor može da obrađuje podatke u spoljnom kešu, dok PCI magistrala prenosi informacije između drugih delova sistema.



Slika 1.1.1 Primer arhitekture magistrala kod Pentium 4 računara. [Izvor: A. S. Tanenbaum, Structured computer organization, 6th edition, Pearson Prentice Hall, 2012.]

## SPECIFIKACIJA PCI MAGISTRALE

*Od kraja 1995. godine većina PC kompatibilnih sistema ima PnP BIOS koji omogućava automatsko PnP podešavanje.*

Specifikacija PCI predviđa tri konfiguracije matičnih (osnovnih) ploča, od kojih se svaka odnosi na određenu vrstu sistema sa posebnim zahtevima u pogledu napajanja. Specifikacija 5 V odnosi se na stacionarne računarske sisteme, 3,3 V na prenosive računare, a univerzalna na matične ploče i kartice koje se mogu koristiti u obe vrste sistema.

Ono što treba istaći je da su PCI kartice bile model za Intelovu PnP specifikaciju. To znači da one nemaju kratkospojnike i prekidače, već se podešavaju softverski. Pravi PnP sistemi mogu automatski da podese kartice, dok sistemi koji nisu PnP i imaju ISA slotove moraju da podese kartice pomoću programa koji je obično deo podešavanja CMOS sistema. Od kraja 1995. godine većina PC kompatibilnih sistema ima PnP BIOS koji omogućava automatsko PnP podešavanje. Osim PnP koncepta, PCI magistrala je donela i sledeća unapređenja u arhitekturi:

- mogućnost deljenja IRQ linija i DMA kanala između kartica koje se utaknute u različite slotove;
- mogućnost da sistem konfiguriše njihovo korišćenje delova glavne memorije, adresa U/I portova, IRQ linija, DMA kanala;
- mogućnost da ih sistem isključi u slučaju zahteva za resursom koji je već zauzet.

Ostali PCI standardi koji se pojavljuju na PC tržištu:

- PCI 2.2: 66 MHz - 3.3 V napajanje –maksimalan nivo transfera 533 MB/s
- PCI 3.0 je poslednji zvanični standard, koji je kompletno isključio mogućnost napajanja od 5V. • PCI-X: širina magistrale je 128-bit, frekvencija 133 MHz, maksimalni nivo transfera 1014 MB/s, koristi se uglavnom za priključivanje gigabitnog Ethernet-a.
- PCI-X 2.0 dozvoljava 266 MHz (nivo transfera 2035 MB/s), kao i 533 MHz , konfiguracioni bafer iznosi 4096 bajta, i dopušta 1.5 V signalizaciju • Mini PCI je verzija PCI 2.2 korišćena uglavnom u laptop računarima.

## ▼ 1.1 AGP Magistrala

### AGP (ACCELERATED GRAPHICS PORT)

*AGP je brza veza između dve tačke i posebno je projektovana, u stvari, samo za video karticu u sistemu, pošto je dozvoljen samo jedan AGP slot (za jednu video karticu).*

AGP (en. **Accelerated Graphics Port**) je brza veza između dve tačke i posebno je projektovana, u stvari, samo za video karticu u sistemu, pošto je dozvoljen samo jedan AGP slot (za jednu video karticu).

AGP specifikacija 1.0 objavljena je u Intelu jula 1997. godine. Definisan je radni takt od 33 MHz sa mogućim udvostručavanjem i napajanje od 3,3 V. AGP verzija 2.0, objavljena maja 1998. godine, dodala je faktor umnožavanja radnog takta 4x i mogućnost rada sa napajanjem od 1,5 V.

Postoji i specifikacija AGP Pro, kojom se definiše nešto duži slot sa dodatnim izvodima za napajanje sa svake strane kako bi se omogućio rad većih i bržih AGP kartica (snage 25 – 110 vati). Slotovi AGP Pro kompatibilni su sa ranijim verzijama, što znači da se na njih mogu priključiti standardne AGP kartice.

AGP je veoma brza veza, podrazumeva 32-bitni kanal i radi na osnovnoj frekvenciji od 66,66 MHz, što je dvostruko više od standardne PCI. Kako je AGP magistrala široka 32 bita (4 bajta), ona u osnovnom režimu može da prenosi podatke 66 miliona puta u sekundi i postigne brzinu od oko 266 MB/s.

Pošto specifikacija 2.0 daje mogućnost prenosa 4x, u kojem podaci mogu da se prenose četiri puta u ciklusu, što teoretski daje brzinu od 1066 MB/s, dok specifikacija 3.0 daje mogućnost prenosa osam puta u ciklusu, što proizvodi efekat radnog takta od 533 MHz, a kao rezultat daje nivo transfera od 2133 MB/s (2 GB/s) i mogućnost rada sa napajanjem 0.8 V.

### AGP PORT: VIDEO OBJAŠNJENJE

*Sledi video objašnjenje za AGP port*

**Ova lekcija sadrži video materijal. Ukoliko želite da pogledate ovaj video morate da otvorite LAMS lekciju.**

## ✓ 1.2 Ekspanzioni slotovi

### EKSPANZIONI SLOTOVI I KARTICE ZA PROŠIRENJA

*Većina PC računara koristi standardizovane slotove za proširenja tako da se na sistem mogu priključiti različiti periferni uređaji.*

#### **Ekspanzioni slotovi i kartice za proširenja**

Većina PC računara koristi standardizovane slotove za proširenja tako da se na sistem mogu priključiti različiti periferni uređaji. Otvorenost arhitekture personalnih računara i ogroman broj korisnika motivisali su proizvođače da razviju mnoštvo uređaja za proširenje sistema.

Većina njih komunicira sa osnovnim sistemom preko kartica koje se postavljaju u ekspanzione slotove. Kartice obično sadrže kola interfejsa i upravljački logiku perifernog uređaja.

**Ova lekcija sadrži video materijal. Ukoliko želite da pogledate ovaj video morate da otvorite LAMS lekciju.**

### GRAFIČKE KARTICE

*Grafička kartica obezbeđuje interfejs između matične ploče i monitora.*

Grafička kartica obezbeđuje interfejs između matične ploče i monitora.

Za razliku od većine drugih računarskih uređaja, video standard koristi analogne signale i elektronska kola. Integralno kolo sa video kontrolerom predstavlja osnovnu komponentu na većini grafičkih kartica. Kontroler je specijalizovan procesor za nadgledanje rada čitave grafičke kartice (adaptera). On može da pristupa video RAM i video ROM memoriji koja se nalazi na samoj kartici.

Video RAM sadrži podatke koje treba prikazati na ekranu. Njegov kapacitet određuje video i kolor mogućnosti same kartice. Moderne grafičke kartice su opremljene snažnim grafičkim procesorima koji svojom procesorskom snagom i brojem tranzistora gotovo nadmašuju glavne procesore. Ciklusi se troše na što realnije prikazivanje 3D scena, sa što većim brojem poligona i boja.

Veličina memorije na grafičkoj kartici danas se kreće i do više GB.

***Video objašnjenje grafičkih kartica:***



**Ova lekcija sadrži video materijal. Ukoliko želite da pogledate ovaj video morate da otvorite LAMS lekciju.**

## MODEMI, MREŽNE I ZVUČNE KARTICE

*Zvučna kartica pretvara analogne zvučne talase u digitalni signal (nule i jedinice).*

Modem (en. **modem**) koristi se za prenos podataka preko linija koje nisu prvenstveno namenjene za prenos podataka. Ove linije mogu biti telefonski kablovi ili koaksijalni kablovi kablovskih operatera.

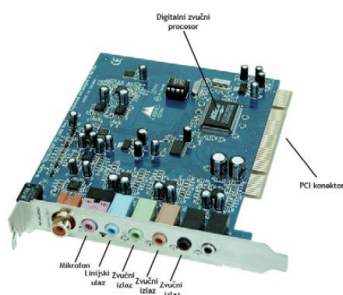
Mrežna kartica (en. **Network Interface card**, **NIC**) koristi za povezivanje računara u lokalnu mrežu.

**Ova lekcija sadrži video materijal. Ukoliko želite da pogledate ovaj video morate da otvorite LAMS lekciju.**

Zvučna kartica (en. **Sound Card**) koristi se za dobijanje audio izlaza visok kvaliteta. Zvučna kartica pretvara analogne zvučne talase u digitalni signal (nule i jedinice).

Deo koji obavlja taj zadatak se zove **CODEC** u koji su integrisana dva glavna dela koja obavljaju taj posao, **ADC** (en. **Analog Digital Converter**) i **DAC** (en. **Digital Analog Converter**) pretvarač. Osim toga, postoji i **DSP** (en. **Digital Sound Processor**), zvučni procesor koji oslobađa CPU od procesiranja zvučnih signala (ako ga zvučna karta nema, onda to radi CPU), takođe zvučna kartica ima svoju memoriju.

Komunikacija sa računarom se odvija preko PCI/PCIe interfejsa, dok se komunikacija sa zvučnicima i mikrofonom ostvaruje preko ulaznih i izlaznih konektora.



Slika 1.2.1 Zvučna kartica [Izvor: [https://en.wikipedia.org/wiki/Sound\\_card](https://en.wikipedia.org/wiki/Sound_card)]

## ADAPTERI ZA POVEZIVANJE RAZNIH UREĐAJA NA PC

*Računarskom sistemu može se dodati veliki broj drugih adapterskih kartica od kojih pominjemo neke koje značajno proširuje mogućnost povezivanja i funkcionalnosti sistema.*

Računarskom sistemu može se dodati veliki broj drugih adapterskih kartica od kojih pominjemo neke koje značajno proširuje mogućnost povezivanja i funkcionalnosti sistema.

**USB adapteri.** Većina PC računara već poseduje ugrađene USB (Universal Serial Bus) konektore. Ako želite da povećate njihov broj možete da instalirate dodatnu USB adaptersku karticu tako što ćete je postaviti u odgovarajući slot proširenja.

**IEEE-1394 Firewire adapteri.** Na PC računarima povezivanje preko IEEE-1394 U/I magistrale obično nije direktno podržano. Ova magistrala namenjena je za povezivanje audio/video opreme, a dodaje se sistemu postavljanjem Firewire adapterske kartice u ekspanzioni slot.

**Adapteri za bežične mreže (Wireless network adapters).** Desktop računari ne podržavaju bežično povezivanje sa mrežom ili štampačem. Takva opcija može se dodati sistemu postavljanjem adapterske kartice za bežičnu mrežu u ekspanzioni slot.

**SCSI adapteri.** Većina PC-a poseduje ugrađeni IDE (**Integrated Drive Electronics**) interfejs namenjen povezivanju diskova u sistem.

Ako želite da u svoj sistem povežete neki od velikog broja diskova i perifernih uređaja koji rade preko **Small ComputerSystem Interface** (SCSI), u jedan ekspanzioni slot mora se postaviti SCSI host adapter.

## Kontroleri

Za priključenje bilo kog uređaja na računar potrebno je da budu ispunjena dva uslova. Prvi je da priključenje bude korektno u pogledu elektronike, tj. da ne dođe do varničenja i pregorevanja računara ili komponente koja se priključuje. Drugi uslov je postojanje posebnog programa – drajvera, koji će omogućiti prepoznavanje komandi koje stignu u priključeni uređaj i njihovo izvršavanje. Kod uobičajenih i standardizovanih uređaja, kao što su, npr. diskovi, diskete i CD uređaji, i kontroleri su standardizovani. U zavisnosti od tehnologije, način njihovog priključenja na osnovnu ploču povremeno se menja. Kod prvih računara oni su bili integrisani u osnovnu ploču. Kasnije je tehnologija promenjena, te su ovi kontroleri bili odvojeni i priključivali su se na magistralu. Trenutno, tehnologija je takva da su ovi kontroleri integrisani u osnovnu ploču, što ima svojih prednosti i nedostataka. Jedan od nedostataka je što se u slučaju kvara kontrolera mora menjati cela osnovna ploča. Ovi kontroleri obično podržavaju 4 jedinice, što može da bude bilo koja kombinacija diskova, jedinica disketa i cd uređaja.

## KONTROLER MAGISTRALE I PERIFERNOG UREĐAJA

*Drugi, ređe korišćeni uređaji imaju svoje posebne kontrolere u obliku kartica, koje se priključuju na dodatne slotove na matičnoj ploči.*

Drugi, ređe korišćeni uređaji imaju svoje posebne kontrolere u obliku kartica, koje se priključuju na dodatne slotove na matičnoj ploči.

### Kontroler magistrale

- obezbeđuje da signali bez sudaranja i gubitaka stignu od uređaja predajnika do prijemnika,
- obično je integrisan sa keš kontrolerom, memorijskim kontrolerom i drugim upravljačkim kolima u jedinstven visokointegrisan sistemski kontroler - čipset matične ploče.

### Kontroler perifernog uređaja

- hardver kome centralni procesor prepušta deo ulazno/izlazne kontrole, - upravlja specifičnim aktivnostima u perifernom uređaju,
- sa ostalim delovima sistema povezan je preko tri vrste portova: port podataka, statusni port i upravljački port.

**Ova lekcija sadrži video materijal. Ukoliko želite da pogledate ovaj video morate da otvorite LAMS lekciju.**

## ▼ Poglavlje 2

# Arbitracija na PCI magistrali

## CIKLUS NA PCI MAGISTRALI

*Obično se operacije upisa ili čitanja obavljaju kroz više ciklusa magistrale (en. bus cycle)*

PCI magistrala je paralelna, i ima *master uređaj* ili inicijator (en. *initiator*) i *slave* ili ciljni uređaj (en. *target*).

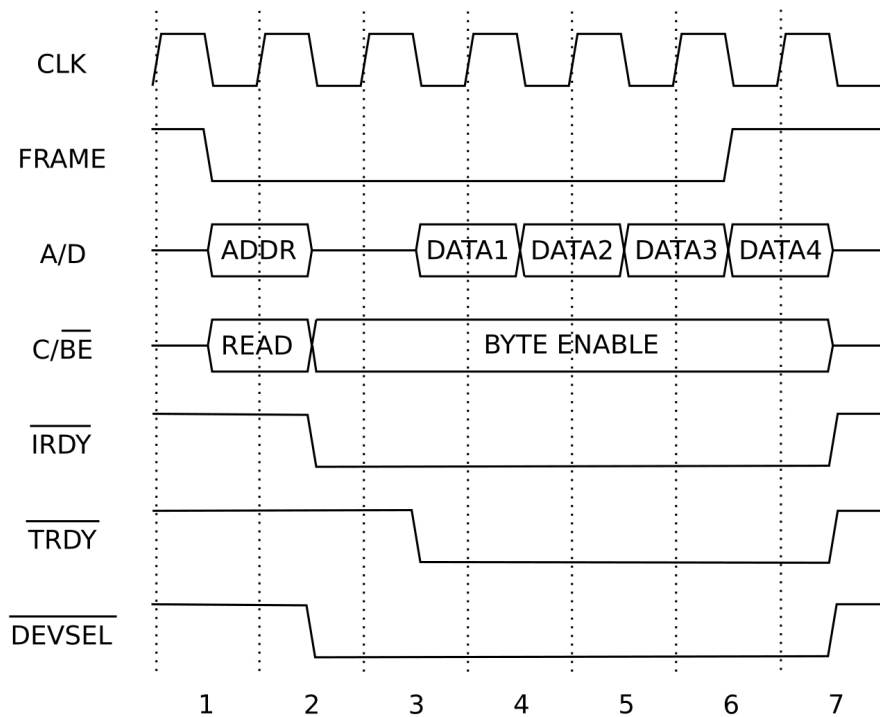
Obično se operacije upisa ili čitanja obavljaju kroz više *ciklusa magistrale* (en. *bus cycle*)

### **Primer:**

Operacija čitanja jednog podatka:

- U ciklusu 1, master uređaj stavlja adresu na magistralu;
- U ciklusu 2, master uređaj uklanja adresu i okreće magistralu da slave uređaj može da koristi;
- U ciklusu 3, slave uređaj šalje zahtevane podatke.

Na slici možemo videti različite signale prilikom čitanja podataka na PCI magistrali. Taktni signal šalje **CLK**, dok je **FRAME** na nuli, onda je moguće dobiti magistralu. Linija **A/D** koristi se za adrese i podatke, dok linija **C/BE'** služi za kontrolne signale.



Slika 2.1 Operacija čitanja četiri podataka (DATA1-DATA4) u četiri ciklusa [Izvor: Autor].

## ARBITRACIJA

*Svaki PCI uređaj poseduje dve linije do arbitratora koji se nalazi na čipsetu matične ploče.*

PCI magistrala ima centralni arbitratorski uređaj (en. **central arbiter**) koji odlučuje koji će PCI uređaj dobiti magistralu.

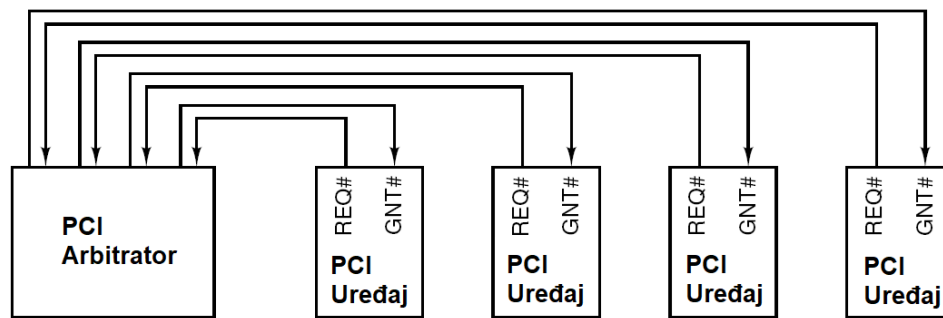
Svaki PCI uređaj poseduje dve linije do arbitratora:

- Prva linija, **REQ#**, ide od uređaja ka arbitratoru i preko nje PCI uređaj šalje zahtev za arbitraciju.
- Druga linija, **GNT#**, ide od arbitratora ka uređaju i preko nje arbitrator šalje dozvolu za korišćenje PCI magistrale.

Arbitrator se obično nalazi za samom čipsetu matične ploče.

**PCI magistrala ima sinhroni prenos.**

Algoritam arbitratora je proizvoljan i zavisi od proizvođača bridge čipa. Može biti round-robin, prioritarna arbitracija, i druger šeme arbitracije.



Slika 2.2 Arbitracija na PCI magistrali [Izvor: Autor]

## ARBITRACIJA MAGISTRALNE: VIDEO OBJAŠNENJE

*Sledi video objašnjenje o arbitraciji magistrale.*

**Ova lekcija sadrži video materijal. Ukoliko želite da pogledate ovaj video morate da otvorite LAMS lekciju.**

## ▼ Poglavlje 3

# PCIe magistrala

## PCIE FORMAT MAGISTRALE

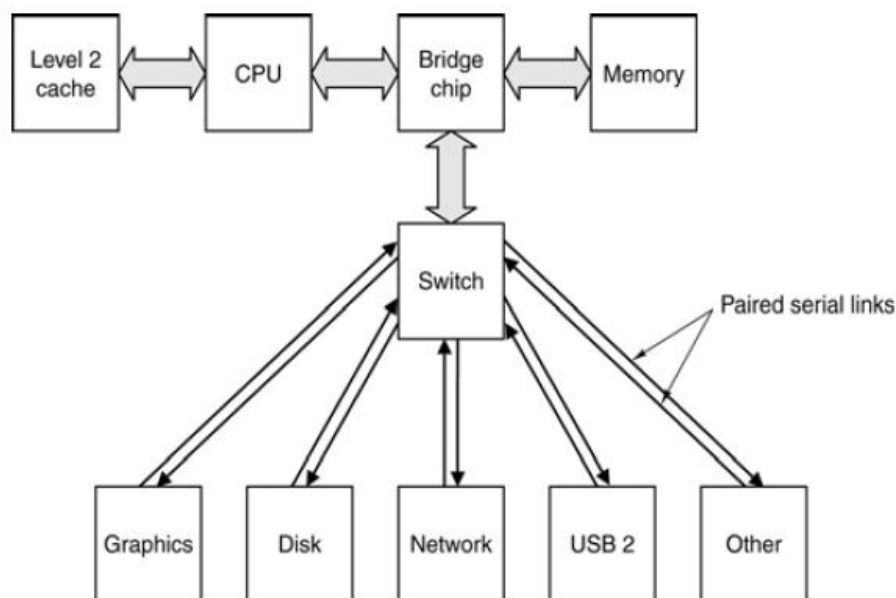
*PCIe format je predstavljen od strane Intela 2004 godine, a dizajniran je sa namerom da zameni postojeće PCI, PCI-X i AGP standarde.*

PCI express (en. **Peripheral Component Interconnect Express**, **PCIe**)

PCIe format je predstavljen od strane Intela 2004 godine, a dizajniran je sa namerom da zameni postojeće PCI, PCI-X i AGP standarde (tokom razvoja ovaj koncept se po prvi put pojavio pod nazivom 3GIO, en. **3rd Generation I/O**). Nasledio je dobre osobine i prihvaćene koncepte iz sva tri navedena standarda i dalje ih unapredio (Slika 1).

Struktura ove magistrale je bazirana na komunikaciji od tačke do tačke (en. **point-to-point**).

Ova vrsta razmene informacija je suštinski različita od prethodnog koncepta paralelne magistrale i prvi put se u arhitekturi javila kod AGP kartica.



Slika 3.1 Arhitektura PCI Expres magistrale. [Izvor: A. S. Tanenbaum, Structured computer organization, 6th edition, Pearson Prentice Hall, 2012.]

## STRUKTURA PCIE MAGISTRALNE

*Struktura ove magistrale je bazirana na komunikaciji od tačke do tačke ("point-to-point").*

Umesto slanja podataka na magistralu (**broadcast**) koji su onda svima dostupni, ovde se prvo uspostavlja direktna veza između uređaja koji razmenjuju podatke, pa se zatim podaci prenose direktnim kanalom (ovo je sličan koncept kao kod uspostavljanja veze i prenosa signala u fiksnoj telefoniji).

Osnovna strukturna jedinica kod PCIe magistrale je ćelija x1, koju čini par serijskih veza (svaka prenosi signal u jednom smeru). Takav par formira jednu dvosmernu putanju (eng. **lane**). Standard PCIe 1.1 ima nivo transfera 2.5 GT/s (Vidimo da se uvodi nova jedinica za nivo transfera a to je giga-transfer u sekundi – koji podrazumeva 2.5 Gb/s dvosmernu. Ako ovo preračunamo na nivo transfera paralelnih magistrala koji se obično izražava u MB/s, PCIe nudi 250MB/s dvosmernog saobraćaja po jednoj putanji).

### **PCIe magistrala: Video objašnjenje:**

**Ova lekcija sadrži video materijal. Ukoliko želite da pogledate ovaj video morate da otvorite LAMS lekciju.**

## PUTANJE (EN. LANE) PCIE MAGISTRALNE

*PCIe je dizajniran da bude softverski kompatibilan sa PCI standardom.*

PCIe slotovi su dizajnirani po standardima x1 (1 putanja), x2 (2 putanje), x4 (4 putanje), x8, x16 i x32.

Nivo transfera PCIe magistrale se lako može izračunati. Na primer, za standard x16, koji je predviđen za grafičke kartice imamo mogućnost prenosa od 4GB/s dvosmernu. Na slici 2 data je fotografija izgleda PCIe slotova različite dužine:

PCIe je dizajniran da bude softverski kompatibilan sa PCI standardom, tako da će zamena biti moguća bez većih problema – zamena će biti izvršena na fizičkom (hardverskom) nivou, dok će softver za podršku moći da ostane nepromenjen.





Slika 3.2 Slotovi odozgo na dole: PClex4,x16,x1,x16, PCI. [Izvor: [https://en.wikipedia.org/wiki/PCI\\_Express](https://en.wikipedia.org/wiki/PCI_Express)]

## ▼ Poglavlje 4

# PCIe stek protokola

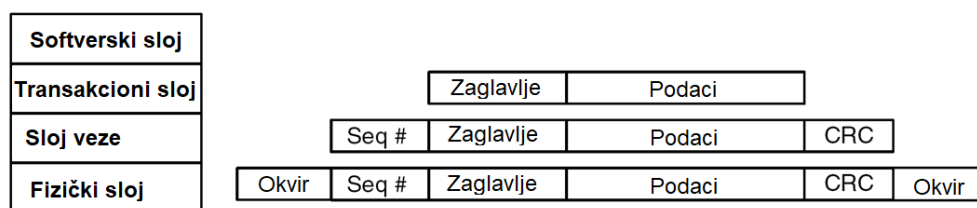
## STEK PROTOKOLA PCIE MAGISTRALE

*U skladu sa modelom mreže sa komutacijom paketa, PCI Ekpress sistem ima slojeviti stek protokola (en. protocol stack).*

U skladu sa modelom mreže sa komutacijom paketa, PCI Ekpress sistem ima slojeviti stek protokola (en. protocol stack).

Protokol je skup pravila koja regulišu razgovor između dva uređaja.

Stek protokola predstavlja hijerarhiju protokola koji se bave sa različitim pitanjima na različitim slojevima.



Slika 4.1 PCIe stek protokola. [Izvor: Autor]

## FIZIČKI SLOJ I SLOJ VEZE

*Dok se fizički sloj bavi prenosom bitova, sloj veze se bavi sa prenosom paketa.*

### Fizički sloj

Najniži je fizički sloj (en. Physical layer). Bavi se premeštanjem bitova od pošiljaoca do primaoca preko point-to-point veze.

Svaka point-to-point veza se sastoji od jednog ili više parova simpleksa (tj. jednosmerne) veze. U najjednostavnijem slučaju, postoji po jedan par u svakom pravcu, ali je takođe dozvoljeno imati 2, 4, 8, 16 ili 32 para.

### Sloj veze

Dok se fizički sloj bavi prenosom bitova, sloj veze (en. link layer) se bavi sa prenosom paketa. Potrebno je zaglavlje i podaci (en. payload) koji mu je dao sloj transakcije. Sloj veze dodaje redni broj i kod za ispravljanje grešaka CRC (en. Cyclic Redundancy Check).

CRC se generiše pokretanjem određenog algoritma na podacima zaglavlja i samih podataka (payload-a). Kada se paket primi, prijemnik vrši isto izračunavanje zaglavlja i podataka i upoređuje rezultat sa CRC prikazanim na paket.

Ako se slažu, šalje se kratak paket potvrde (en. **acknowledgment packet**) koji potvrđuje njegov ispravan dolazak.

Ako se ne slažu, primalac traži ponovni prenos.

Na ovaj način, integritet podataka je znatno poboljšan u odnosu na sistem PCI magistrale, koji nema nikakve načine za verifikaciju i ponovnu transmisiju podataka poslatih preko magistrale.

## TRANSAKCIONI SLOJ I SLOJ SOFTVERA

*Transakcioni sloj (en. transaction layer) upravlja akcijama magistrale, dok softverski sloj (en. software layer) povezuje PCI Express sistem sa operativnim sistemom.*

### Transakcioni sloj

*Transakcioni sloj* (en. **transaction layer**) upravlja akcijama magistrale. Čitanje reči iz memorije zahteva dve transakcije: jedna koju pokreće CPU ili DMA kanal koji zahteva neki podaci i jedan iniciran od strane cilja koji dostavlja podatke.

Transakcioni sloj radi više od upravljanja čitanjem i pisanjem podataka. Za početak, može da podeli svaku putanju na do osam virtuelnih kola, od kojih svako upravlja različitom klasom saobraćaja. Transakcioni

sloj može označiti pakete prema njihovoj klasi saobraćaja, što može uključivati attribute kao što su visoki prioritet, nizak prioritet, dozvola za isporučivanje van reda i sl. Komutator može da koristi ove tagove kada odlučuje koji će paket sledeći da obrađuje.

### Softverski sloj

*Softverski sloj* (en. **software layer**) povezuje PCI Express sistem sa operativnim sistemom.

Može da emulira PCI magistralu, što omogućava pokretanje postojećih operativnih sistema na neizmenjenom PCI režimu, na PCI Ekpress sistemima.

## ▼ Poglavlje 5

# USB magistrala

## USB MAGISTRALA I STANDARDI

*USB rešava problem potrebe velikog broja serijskih i paralelnih portova za razne periferne uređaje korišćenjem standardnog porta za sve tipove perifernih uređaja.*

USB (en. Universal Serial Bus)

USB rešava problem potrebe velikog broja serijskih i paralelnih portova za razne periferne uređaje korišćenjem standardnog porta za sve tipove perifernih uređaja.

Sa inicijalnom brzinom transfera od 12 Mb/s USB je desetak puta brži od tradicionalnog serijskog porta i oko 6 puta brži od standardnog paralelnog porta.

Standard USB 2.0. radi na brzini od 480 Mb/s, što USB danas pretvara u nezamenljivu magistralu.

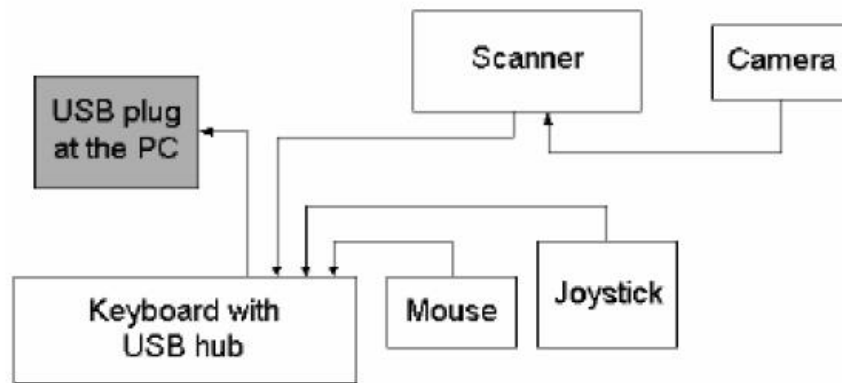
Još važnije je da USB podržava PnP. Sa odgovarajućim drajverima i podrškom operativnog sistema, uređaji priključeni na USB port biće automatski detektovani.

Nasuprot ulančavanju koje se koristi kod SCSI specifikacije, USB koristi zvezdastu tehnologiju kao što se vidi na slici. Može se instalirati samo jedan USB kontroler (za razliku od SCSI arhitekture koja dozvoljava više host adaptera).

Većina PC-ja ima nekoliko USB porta koji su vezani za kontroler. Uređaji vezani na ove portove mogu sami opslužiti još tri druga uređaja.

Na USB magistralu može se vezati najviše 127 uređaja.

Šema povezivanja uređaja preko USB portova data je na ledećoj slici:



Slika 5.1 Šema povezivanja uređaja preko USB portova. [Izvor: <https://microchipdeveloper.com>]

## USB MAGISTRALA I STANDARDI: VIDEO OBJAŠNENJE

*Sledi video objašnjenje za USB magistralu i različite standarde ove magistrale.*

**Ova lekcija sadrži video materijal. Ukoliko želite da pogledate ovaj video morate da otvorite LAMS lekciju.**

## ▼ Poglavlje 6

### Pokazne Vežbe

#### ZADACI 1 I 2

*Zadaci 1 i 2 traju okvirno po 10 minuta.*

##### **Zadatak #1 (10 minuta)**

Za magistralu u zadatom ciklusu imate sledeće stanje signala:

- 32 bitni AddressBUS sa validnim sadržajem u toku celog ciklusa,
- 32 bitni DataBUS sa validnim sadržajem u toku celog ciklusa,
- signal /Write 1-0-1, • signal /Read =1 u toku celog ciklusa, • ciklus počinje u i-tom taktu a završava se u j+1 taktu.
- U slučaju da je  $i=3$ ,  $j=6$ ,
- Veličina takta 100MHz

Odrediti transfer rate u MB/s

##### **Rešenje:**

Ukupan ciklus na magistrali je:  $T=j+1-i=4$  ciklusa, tj. 4 taktnih impulsa

Vreme za jedan taktni impuls je:  $T_{\text{cycle}}=1/100\text{MHz}=10\text{nsec}$

Vreme za ciklus na magistrali je:  $T_{\text{transfer}}=4 \times T_{\text{cycle}}=40\text{nsec}$

U jednom transferu se prebaci 32 bita, tj 4 bajta:  $v=4/T_{\text{transfer}}=4/40=100\text{MB/s}$

##### **Zadatak #2 (10 minuta)**

Za PCI magistralu sa 32 bita i 33MHz takta odrediti max transfer rate?

##### **Rešenje:**

Vreme jednog "burst" ciklusa na PCI magistrali iznosi jednu takt periodu  $T=1/(33 \times 10^6)\text{s}$

U tom ciklusu po magistrali se prenese 4 bajta, zato što je PCI, 32 bitna magistrala u ovom slučaju  $v=4\text{bytes}/T=133\text{MB/s}$

#### ZADATAK 3

*Zadatak 3: Odreživanje maksimalne brzine prenosa (15 minuta)*

##### **Zadatak #3 (20 minuta)**

Za PCI magistralu sa 64 bita i 66MHz takta:

- odrediti max transfer rate- koliko maksimalno diskova (media speed 50MB/s) u RAID konfiguraciji može opsluživati ovakav PCI- koliko je PCI express linkova potrebno da bi imali iste ili slične performanse, ako svaki PCI express link ima brzinu  $V_{pci\_express} = 1\text{Gb/s}$

**Rešenje:**

a) Vreme jednog "burst" ciklusa na PCI magistrali iznosi jednu takt periodu  $T = 1/(66 \cdot 10^6)\text{s}$

U tom ciklusu po magistrali se prenese 8 bajta, zato što je PCI, 64 bitna magistrala u ovom slučaju  $v = 8/T = 533\text{MB/s}$

b) Da bi PCI mogla da izdrži RAID optrećenje, njena brzina mora da bude takva da može da prenese podatke sa svih diskova istovremeno.

Prema tome:  $N = V_{bus}/V_{disk} = 533\text{MB/s} / 50\text{MB/s} = 10\text{diskova}$

c) Svaki PCI express link radi nezavisno sa svojom maksimalnom brzinom  $V_{pci\_express} = 1\text{Gb/s} = 100\text{MB/s}$

Da bi se ostvarile iste ili slične performanse kao PCI-64, potrebno je:  $N_{link} = V_{PCI-64} / V_{pci\_express} = 533\text{MB/s} / 100\text{MB/s} = 5.33 = 6\text{ linkova}$

## ▼ Poglavlje 7

### Zadaci za samostalni rad

#### ZADACI ZA IZRAČUNAVANJE BRZINE PRENOSA NA RAZLIČITIM MAGISTRALAMA

*Individualne vežbe se rade 45 minuta.*

Za magistralu u zadatom ciklusu imate dato stanje signala. Odrediti brzinu prenos u MBps.

1. 32bit,  $i = 2$ ,  $j = 5$ ,  $f = 33$  MHz
2. 64bit,  $i = 3$ ,  $j = 4$ ,  $f = 66$  MHz
3. 64bit,  $i = 2$ ,  $j = 6$ ,  $f = 100$  MHz
4. 16bit,  $i = 2$ ,  $j = 9$ ,  $f = 133$  MHz
5. 8bit,  $i = 2$ ,  $j = 5$ ,  $f = 33$  MHz
6. 32bit,  $i = 2$ ,  $j = 7$ ,  $f = 33$  MHz
7. 32bit,  $i = 3$ ,  $j = 6$ ,  $f = 133$  MHz
8. 64bit,  $i = 1$ ,  $j = 8$ ,  $f = 66$  MHz
9. 16bit,  $i = 3$ ,  $j = 7$ ,  $f = 100$  MHz
10. 8bit,  $i = 2$ ,  $j = 5$ ,  $f = 80$  MHz



## ▼ Poglavlje 8

### Domaći zadatak

#### DOMAĆI ZADATAK #7

*Domaći zadatak #9 se okvirno odrađuje za 45min.*

##### **Domaći zadatak #7**

Saberite prve dve cifre i druge dve cifre Vašeg broja indeksa.

Manji broj je promenljiva  $i$ , dok je veći broj promenljiva  $j$ . Ukolisu su zbrovi isti, jedan broj povećati za 2.

Primer #1: Broj indeksa je 4321,  $j = 7$ ,  $i = 3$ .

Primer #2: Broj indeksa je 4325,  $j = 9$ ,  $i = 7$ .

Za magistralu u zadatom ciklusu imate dato stanje signala. Ciklus počinje u  $i$ -tom taktu a završava se u  $j+1$  taktu.

Odrediti brzinu prenosa u MBps.

a) Magistrala je 16-bitna, frekvencija je 133MHz,

b) Magistrala je 32-bitna, frekvencija je 33MHz,

c) Magistrala je 64-bitna, frekvencija je 66MHz

##### **Predaja domaćeg zadatka:**

Domaći zadatak slati odgovarajućem predmetnom asistentu, sa predmetnim profesorom u CC.

Predati domaći zadatak koristeći .doc/docx uputstvo dato u prvoj lekciji.

## ▼ Poglavlje 9

### Zaključak

## NOVE INFORMACIJE VEZANE ZA MAGISTRALE, ZA ARBITRACIJU I DRUGO

### *Rezime lekcije #7*

U ovoj lekciji su detaljnije obrađene nove informacije vezane za magistrale, za arbitraciju, elementima magistrale, upoznaćemo se sa osobinama sinhrona i asinhrona magistrale, a na kraju obradimo nekoliko primera magistrala među kojima PCI, PCI express, i USB magistrale.

Magistralu čine tri grupe linija i to adresne linije, linije podataka i upravljačke linije. Po adresnim linijama gazda šalje adresu memorijske lokacije ili registra uređaja prilikom čitanja sadržaja ili upisa sadržaja. Po linijama podataka gazda šalje sadržaj koji treba da se upiše u memorijsku lokaciju ili registar uređaja čija adresa se nalazi na adresnim linijama. Po linijama podataka sluga šalje očitani sadržaj memorijske lokacije ili registra uređaja čija adresa se nalazi na adresnim linijama. Po upravljačkim linijama gazda šalje signale kojima određuje da li treba da se realizuje čitanje ili upis sadržaja.

Arbitracija je odlučivanje o tome ko može da realizuje ciklus na magistrali. U zavisnosti od toga kako se realizuje arbitracija razlikuju se sistemi kod kojih je to funkcija procesora i sistemi kod kojih je to funkcija arbitra koje su opisane u ovoj lekciji.

Da bi čitanje i upis moglo da se realizuju na način magistrale sa podeljenim ciklusima u memorijskim modulima koji mogu da budu sluge mora sada da postoje registri u koje će se upisivati informacije neophodne za realizaciju čitanja ili upisa. Pored toga svaki modul koji može da bude gazda mora da dobije neki broj koji će predstavljati njegov identifikator i koji će se prenositi zajedno sa drugim informacijama u poseban registar modula koji kao sluga treba da realizuje čitanje.

Sistemi se veoma često projektuju tako da sadrže više od jedne magistrale. To se čini sa ciljem da se smanje čekanja modula koji kao gazde realizuju cikluse na magistrali i da se kombinuju dobre strane sinhrona i asinhrona magistrale.

#### **Literatura:**

A. Tanenbaum, Structured Computer Organization, Chapter 03, pp. 196-232.