

### OPASKA!

- ☞ Ovi materijali namijenjeni su isključivo studenticama/studentima koji su upisali predmet "Računala i procesi" na FER-u u šk. g. 2002/2003.
- ☞ Za svako drugo korištenje potrebna je pismena suglasnost autora!
- ☞ Materijali služe kao pomoć u praćenju predavanja, a ne kao njihova zamjena te se ne mogu tumačiti izvan konteksta predavanja!



M. Žagar, 2002-10-01

(c) M. Žagar, RASIP, FER

1

---

---

---

---

---

---

---

---

ՄԻՆՏՅԱՆ ԺՈՒՆՈՒՆ



ՓՈՒՅՁՅՈՒՄԱՆՈՅ ԹԻՒՆԱՆՅԱԾ

ՓԻՆՉՈՒՄԱՆ ԵՎ ԵՐԿՐԱՆՈՒՄԱՆ  
ԲԻՅՈՒՄԱՆ ԳՐԱԴԱՐԱՆ  
(ՓՅԵ)

**ԲԻՅՈՒՄԱՆ  
&  
ԸՆԴՈՒՄՆԵՐ**

---

---

---

---

---

---

---

---

Mario Žagar



Sveučilište u Zagrebu

Fakultet elektrotehnike i računarstva  
(FER)

**Računala I Procesi**  
**10. Universal Serial Bus - USB**

---

---

---

---

---

---

---

---

## Sadržaj

- ☞ Ciljevi arhitekture
- ☞ Osnovne karakteristike USB sabirnice
- ☞ Pregled arhitekture
- ☞ Model toka podataka
- ☞ Mehanička svojstva
- ☞ Električna svojstva
- ☞ Usporedba s drugim sučeljima



(c) M. Žagar, RASIP, FER

4

---

---

---

---

---

---

---

---

## Ciljevi arhitekture

- ☞ Ciljevi arhitekture
  - Sabirnica za povezivanje PC komponenti;
  - Jednostavna za uporabu;
  - Niska cijena;
  - Relativno velika brzina prijenosa, do **12Mb/s**;
  - Potpuna podrška za *real-time* prijenos audio i kompresiranih video zapisa;
  - Razvoj jednostvanog sučelja koje se može brzo jednostavno integrirati u novi uređaj.



(c) M. Žagar, RASIP, FER

5

---

---

---

---

---

---

---

---

## Što je USB?

- ☞ Skraćenica od Universal Serial Bus;
- ☞ Brzine prijenosa do 12Mb/s;
- ☞ Serijska sabirnica – četiri žice po kabeu, diferencijalni vodovi + dva voda za napajanje;
- ☞ Prvenstvena namjena – povezivanje PC komponentata;
- ☞ Zvijezdasta struktura mreže, do 127 fizičkih komponentata na mreži;
- ☞ podržana od Windows98 -



(c) M. Žagar, RASIP, FER

6

---

---

---

---

---

---

---

---

## USB - načini rada

- ☞ sinkroni (u ritmu)
- ☞ asinkroni (inicijator ne treba čekati na završetak aktivnosti, uređaj se javi kad je gotov)
  - prijenos će biti kompletan ali se ne zna kad će završiti
- ☞ izosinkroni
  - definirana propusnost ali prijenos može imati gubitke (audio, video)



(c) M. Žagar, RASIP, FER

7

---

---

---

---

---

---

---

---

## Osnovna svojstva USB sabirnice (1)

- ☞ Ciljane primjene
  - Sporiji uređaji (*interactive devices*) poput tipkovnica, miševa, PC periferija za igre, VR podršku i slično;
    - ◆ Potrebne brzine prijenosa 10-100kb/s;
    - ◆ Važno: niska cijena, jednostavnost održavanja i korištenja, istovremena podrška više uređaja, uključivanje/isključivanje "na živo".
  - Prijenos audio i video zapisa, u stvarnom vremenu
    - ◆ Potrebne brzine 500kb/s do 10Mb/s;
    - ◆ Važno još i: garantirano kašnjenje (*real-time zahtjev*), garantirani *bandwidth*.



(c) M. Žagar, RASIP, FER

8

---

---

---

---

---

---

---

---

## Osnovna svojstva USB sabirnice (2)

- ☞ Jednostavnost uporabe za konačnog korisnika
  - jednostavan model kabliranja;
  - svi električki detalji skriveni od korisnika (*npr. terminatori sabirnice*);
  - Automatska identifikacija uređaja, automatsko mapiranje *driver*-a na matičnom računalu i samopodešavanje;
  - Dinamičko priključivanje uređaja i rekonfiguracija.



(c) M. Žagar, RASIP, FER

9

---

---

---

---

---

---

---

---

### Osnovna svojstva USB sabirnice (3)

- ☞ Širok raspon mogućeg opterećenja sabirnice
  - Predviđeno za brzine prijenosa od nekoliko kb/s do nekoliko Mb/s;
  - Istovremeni rad više uređaja na sabirnici;
  - Prijenos više paralelnih nizova (*stream*) podataka između uređaja;
  - Podrška za višefunkcijske uređaje (jedan fizički uređaj, više USB klijenata – *compound devices*).



(c) M. Žagar, RASIP, FER

10

---

---

---

---

---

---

---

---

### Osnovna svojstva USB sabirnice (4)

- ☞ Fleksibilnost
  - Razne veličine paketa na sabirnici;
  - Razne brzine prijenosa;
  - Kontrola toka i spremnika unutar protokola.
- ☞ Niska cijena
  - Niska cijena implementacije, USB optimiran za jednostavnu integraciju u periferije i matične uređaje;
  - Niska cijena konektora i kabela (nema posebnih zahtjeva).



(c) M. Žagar, RASIP, FER

11

---

---

---

---

---

---

---

---

### Pregled USB arhitekture

- ☞ Tri osnovna područja arhitekture
  - USB komunikacijski mehanizmi (*USB interconnect*);
    - ◆ Topologija sabirnice
    - ◆ Komunikacija između implementacijskih razina
    - ◆ Model prijenosa podataka
  - USB uređaji;
  - USB matični uređaj (*USB host*).



(c) M. Žagar, RASIP, FER

12

---

---

---

---

---

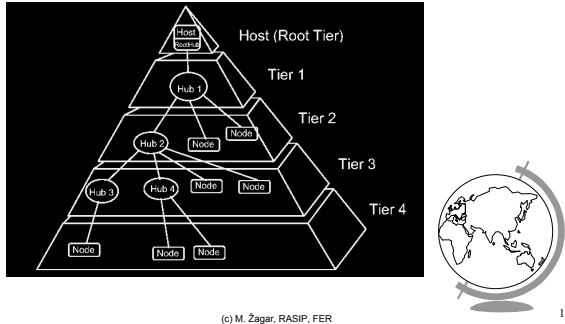
---

---

---

## Pregled USB arhitekture

### Topologija sabirnice



(c) M. Žagar, RASIP, FER

13

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

## Pregled USB arhitekture

### Topologija sabirnice

- ☞ **Struktura mreže**
  - Višeslojna zvjezdasta struktura – *tiered star topology*;
  - Na vrhu svake zvijezde je HUB uređaj;
  - Na vrhu strukture je glavni HUB uređaj s pripadnim kontrolerom (root HUB+host);
  - Kompletna struktura može imati do 127 USB uređaja po kontroleru (ne računajući HUB-ove).
- ☞ **HUB uređaj**
  - Proširivanje strukture;
  - Svaki vod spaja samo dvije točke – *npr. kontroler na jedan uređaj*;
  - Više izlaza raspoloživo na HUB-u;
  - Neki uređaji preuzimaju ulogu HUB-a – *npr. Scanner ima ulogu kontroler (PC) pri raz za proširivanje arhitekture.*

(c) M. Žagar, RASIP, FER

14

---

---

---

---

---

---

---

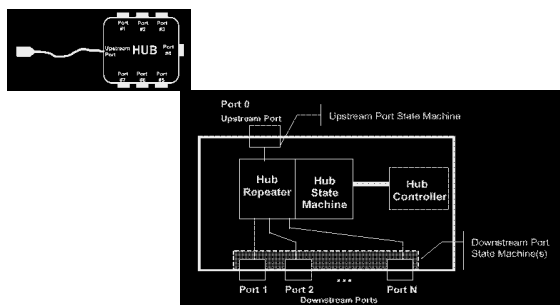
---

---

---

## Pregled USB arhitekture

### Topologija sabirnice– USB HUB



(c) M. Žagar, RASIP, FER

15

---

---

---

---

---

---

---

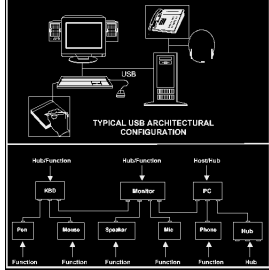
---

---

---

## Pregled USB arhitekture

### Topologija sabirnice



- shematski prikaz spajanje uređaja na USB sabirnicu;
- nema posebnih *HUB* uređaja – svaki *USB* uređaj djelomično implementira ovu funkciju.



(c) M. Žagar, RASIP, FER

16

---

---

---

---

---

---

---

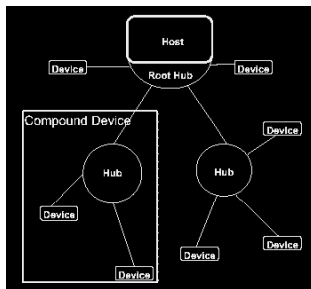
---

---

---

## Pregled USB arhitekture

### Topologija sabirnice



- Pojam *compound device* se odnosi na fizičke *USB* uređaje koji sadrže više *logičkih USB* uređaja;
- Prednost je pojednostavljeno kabliranje – problem proširivanja sabirnice je riješen interno, u samom *fizičkom* uređaju.



(c) M. Žagar, RASIP, FER

17

---

---

---

---

---

---

---

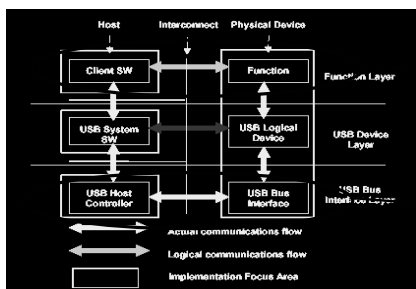
---

---

---

## Pregled USB arhitekture

### USB implementacijska područja



Ciljna razina komunikacije

Fizička razina komunikacije

(c) M. Žagar, RASIP, FER

18

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

## Pregled USB arhitekture

### Mehaničke karakteristike

- ☛ Četiri tipa priključnica
  - Razlikuju se za *USB host* i *USB uređaje*
  - Jednostavnost uporabe – nemogućnost zamjene utičnica
  - Jednostavne i jeftine priključnice



(c) M. Žagar, RASIP, FER 19

---

---

---

---

---

---

---

---


## Pregled USB arhitekture

### Mehaničke karakteristike


#### Series "A" Connectors

Uvijek se koristi prema hostu (upstream oriented)

"Muška" priključnica tipa A (na kabele prema hostu)




"Ženska" priključnica tipa A (na hostu)




#### Series "B" Connectors


Uvijek se koristi prema USB uređaju (downstream oriented)

"Muška" priključnica tipa B (na kabele prema USB uređaju)



"Ženska" priključnica tipa B (na USB uređaju)





(c) M. Žagar, RASIP, FER 20

---

---

---

---

---

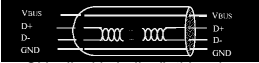
---

---

---


## Pregled USB arhitekture

### Fizička razina prijenosa



- ☛ Oklopljeni kabele s četiri voda
  - Dva voda napajanje (VBUS+GND)
    - Napajanje nominalno 5V na izvoru – 500-1000[mA];
  - Parica za podatke – diferencijalni vodovi.
- ☛ Kvaliteta kabela ovisi o ciljnoj brzini – dvije std. vrijednosti:
  - Do 12 Mb/s
  - Do 1.5 Mb/s.

- ☛ Ciljna brzina ovisi o uređaju (npr. tipkovnice rade do 1.5Mb/s) – USB komponente automatski raspoznaju brzine prijenosa pojedinih uređaja;
- ☛ Kabeli terminirani **isključivo** unutar uređaja;
- ☛ Takt se prenosi kodiran zajedno s podacima po sabirnici
  - NRZI shema kodiranja,
  - + bit stuffing.
- ☛ Logička jedinica na sabirnici
  - (D+) – (D-) > 200[mV]
- ☛ Logička nula na sabirnici
  - (D-) – (D+) > 200[mV]



(c) M. Žagar, RASIP, FER 21

---

---

---

---

---

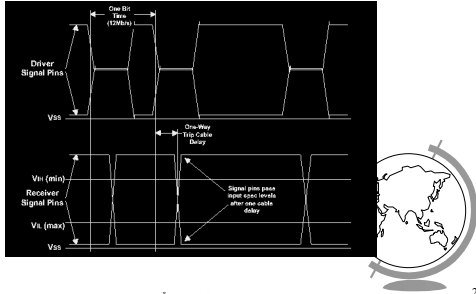
---

---

---

## Pregled USB arhitekture

### Fizička razina prijenosa



(c) M. Žagar, RASIP, FER

22

---

---

---

---

---

---

---

---

## Pregled USB arhitekture

### Razina protokola

- ☞ Određuje način na koji se podaci prenose fizičkim medijem;
- ☞ Informacije se prenose u paketima
  - Svaki paket ima SYNC polje (određena kombinacija bitova);
  - Tijelo paketa – razne vrste paketa
    - ◆ Token paket;
    - ◆ Paket s podacima;
    - ◆ Paket za "rukovanje" (*handshake*).
  - Paket se sastoji od bit polja različite namjene;
  - Polja bitova sadržana u pojedinom paketu, ovise o njegovoj vrsti.



(c) M. Žagar, RASIP, FER

23

---

---

---

---

---

---

---

---

## Pregled USB arhitekture

### Razina protokola

- ☞ Metode kodiranja (*NRZI + bit stuffing*) nisu prikazane u donjim grafičkim prikazima radi jasnoće prikaza;
- ☞ **1.) PID POLJE**
  - Određuje vrstu paketa (*token, data, handshake*)

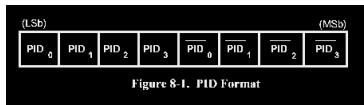


Figure 8-1. PID Format



(c) M. Žagar, RASIP, FER

24

---

---

---

---

---

---

---

---



## Pregled USB arhitekture

### Razina protokola

⇒ **2.) ADRESNO POLJE**

- Sadrži adresu funkcije i adresu krajnje točke (*function address + end-point address*).
- Jedna USB funkcija (*uređaj*) može imati do 16 internih krajnjih točaka;

(LSb)							(MSb)
Addr <sub>0</sub>	Addr <sub>1</sub>	Addr <sub>2</sub>	Addr <sub>3</sub>	Addr <sub>4</sub>	Addr <sub>5</sub>	Addr <sub>6</sub>	

(LSb)				(MSb)
Endp <sub>0</sub>	Endp <sub>1</sub>	Endp <sub>2</sub>	Endp <sub>3</sub>	

(c) M. Žagar, RASIP, FER 25

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

## Pregled USB arhitekture

### Razina protokola

⇒ **3.) BROJ PAKETA**

- Identifikator koji se stalno povećava generiranjem novih paketa, koji ga sadrže;

⇒ **4.) POLJE S PODACIMA**

⇒ **5.) CRC POLJE**

- Računa se za sve dijelove paketa osim PID-a

(MSb)	(LSb)							(MSb)	(LSb)
D <sub>7</sub>	D <sub>6</sub>	D <sub>5</sub>	D <sub>4</sub>	D <sub>3</sub>	D <sub>2</sub>	D <sub>1</sub>	D <sub>0</sub>	D <sub>7</sub>	D <sub>6</sub>
Byte N-1		Byte N						Byte N+1	

(c) M. Žagar, RASIP, FER 26

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

## Pregled USB arhitekture

### Razina protokola

⇒ **Primjeri paketa:** *token paket* i *paket s podacima*

8 bits	7 bits	4 bits	5 bits
PID	ADDR	ENDP	CRC5

8 bits	0-1023 bytes	16 bits
PID	DATA	CRC16

(c) M. Žagar, RASIP, FER 27

---

---

---

---

---

---

---

---


---

---

### USB - CRC

**Token CRCs**  
 5-bitni CRC za tokene (ADDR i ENDP polja od IN, SETUP, OUTSOF)  
 Polinom:  $G(X) = X^5 + X^2 + 1$   
 Binarni oblik je 100101B.  
 Ako je sve u redu, ostatak je 01100B.

**Data CRCs**  
 16-bitni CRC za data field i data packet.  
 Polinom:  $G(X) = X^{16} + X^{15} + X^2 + 1$   
 Binarni oblik polinoma je 1100000000000101B.  
 Ako je sve u redu, ostatak je 1000000000001101B.



28

---

---

---

---

---

---

---

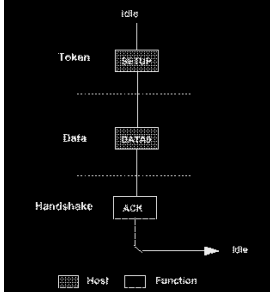
---

---

---

### Pregled USB arhitekture


#### Razina protokola



⇒ Tipična transakcija se sastoji od niza paketa koji se prenose između matičnog USB uređaja i USB funkcija

⇒ Osnovne faze:

- *Setup phase*;
  - Token paket određenog tipa;
- *Data phase*;
  - Paket s podacima;
- *Acknowledge phase*;
  - Token paket određenog tipa.



29

---

---

---

---

---

---

---

---

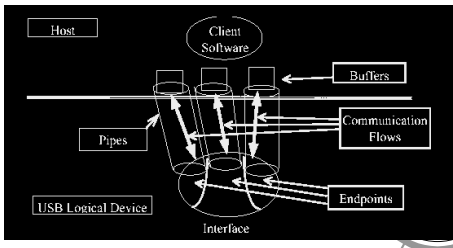
---

---

### Pregled USB arhitekture

#### USB tokovi podataka

Mogućnost otvaranja više virtualnih tokova podataka između parova USB uređaja – implementirani na logičkoj razini



30

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

## Pregled USB arhitekture

### Robustnost

#### ☞ *Interface layer.*

- Diferencijalni prijenosni vodovi + oklop;
- CRC zaštita podataka + odgovarajući način kodiranja.

#### ☞ *Device+function layer.*

- Autodetekcija isključenih ili pokvarenih točaka komunikacije;
- Ponavljanje paketa u slučaju grješke;
- Implementacija nizova (*pipes*) za osiguranje neovisne komunikacije između raznih funkcija.



(c) M. Žagar, RASIP, FER

31

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

## Prednosti USB-a?

- ☞ Ekonomičnost – relativno niska cijena implementacije, velika brzina prijenosa;
- ☞ Visok stupanj standardiziranosti
  - USB sučelja za razne platforme
  - Jednostavna integracija u razne uređaje
- ☞ Jednostavnost uporabe
  - Kabliranje, uključivanje/isključivanje na živo...
  - Samopodešavanje *driver*-a pri promjeni fizičke konfiguracije;



<http://www.usb.org/>

(c) M. Žagar, RASIP, FER

32

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

## Usporedba popularnih sučelja

Naziv	Tip	max. br. uređ.	max. udaljenost (m)	max. brzina (bit/s)	korištenje
USB	serijski (asink.)	127	5 (do 32)	1.5M, 12M (480M-V.2.0)	miš, tipk. disk, modem, kamera
RS-232	serijski (asink.)	2	10-30	29k (115k)	modem, miš, instr.
RS-485	serijski (asink.)	32	1300	10M	upravlj., prikuplj. podataka
IrDa Data	serijski (asink.) infracrveni	2	2	115k	pisaci, prijenosna rač.
Microwire	serijski (sink.)	8	3	2M	mikrokontroleri
SPI	serijski (sink.)	8	3	2,1M	mikrokontroleri
PC	serijski (sink.)	40	6	400k	mikrokontroleri
FireWire (IEEE-1394)	serijski	64	5	400M	video
GPB (IEEE-488)	paralelni	15	20	8M	instrumentacija
Ethernet	serijski	1024	500-800	10M/100M/1G	omogućena računala
MIDI	ser. (str. petlja)	2	20	31,5k	muzika, kontrola
Parallel Printer Port	paralelni	2	3-10	8M	pisaci, scanneri

(c) M. Žagar, RASIP, FER

33

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---