



Sveučilište u Zagrebu  
Fakultet elektrotehnike i računarstva  
Zavod za osnove elektrotehnike i električka mjerenja



---

## **11. TEMA**

# **POVEZIVANJE UREĐAJA S RAČUNALOM**

---

**Predmet "Mjerenja u elektrotehnici"**  
**Prof.dr.sc. Damir Ilić, prof.dr.sc. Roman Malarić**  
**Zagreb, 2020.**

## □ Evolucija upravljanja uređajima pomoću računala

## □ GPIB

- Povijest
- Tehničke karakteristike
- Softverska arhitektura

## □ Ostale sabirnice za upravljanje uređajima

- Za samostojeće (stand alone) uređaje: serijska, Ethernet, USB i IEEE 1394
- Za modularne uređaje: PCI, VXI, PXI

➤ ***Napomena: oznake proizvođača navedene su ovdje u tekstu radi točnog informiranja, ali ni u kojem slučaju ne podrazumijevaju da su to najbolji ili preporučeni instrumenti***

# Sabirnice za upravljanje uređajima

## Samostojeći uređaji

□ GPIB



□ serijski



□ Ethernet



□ USB

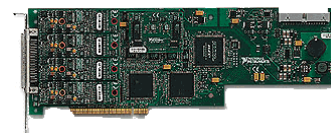


□ IEEE 1394



## Modularni uređaji

□ PCI



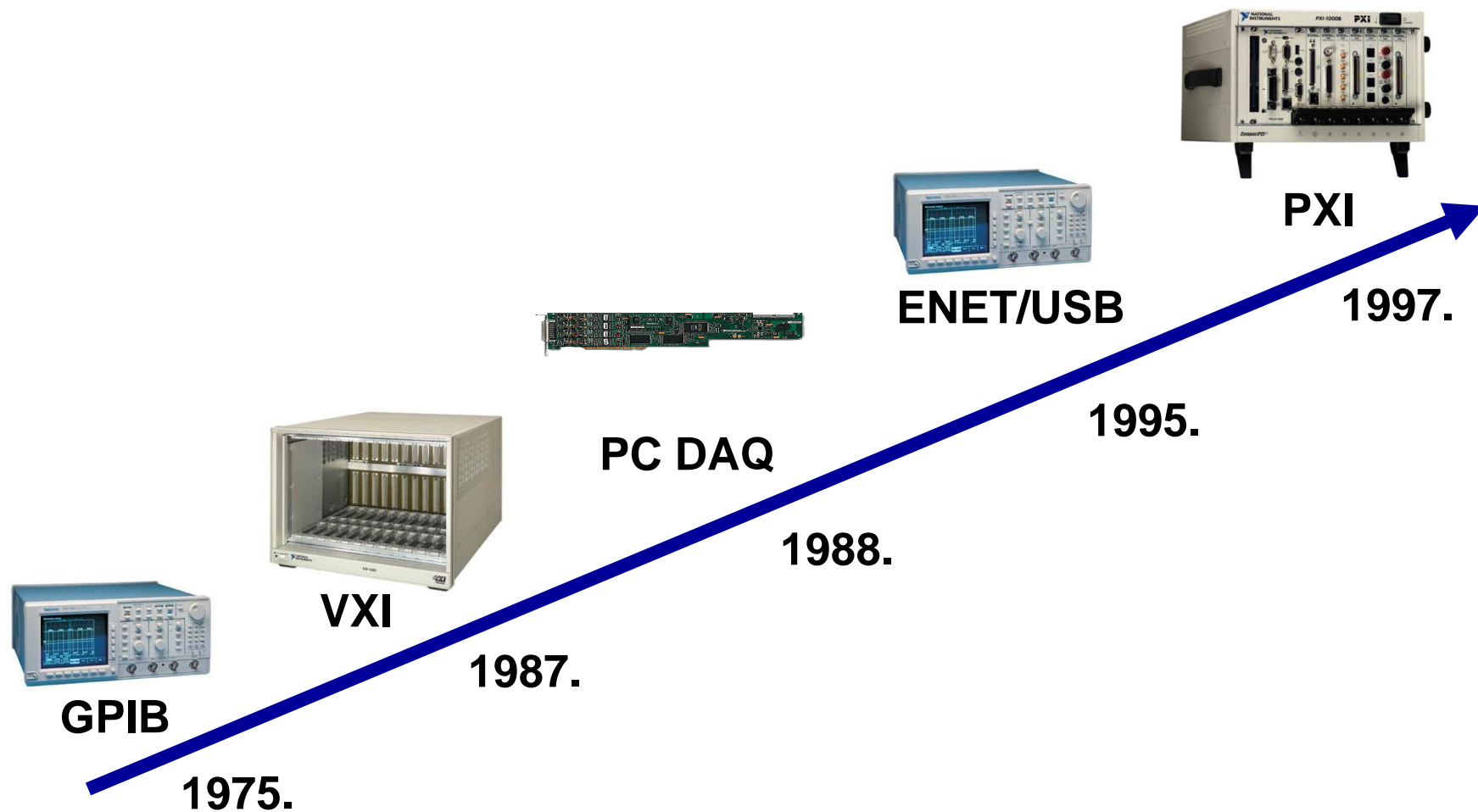
□ VXI



□ PXI



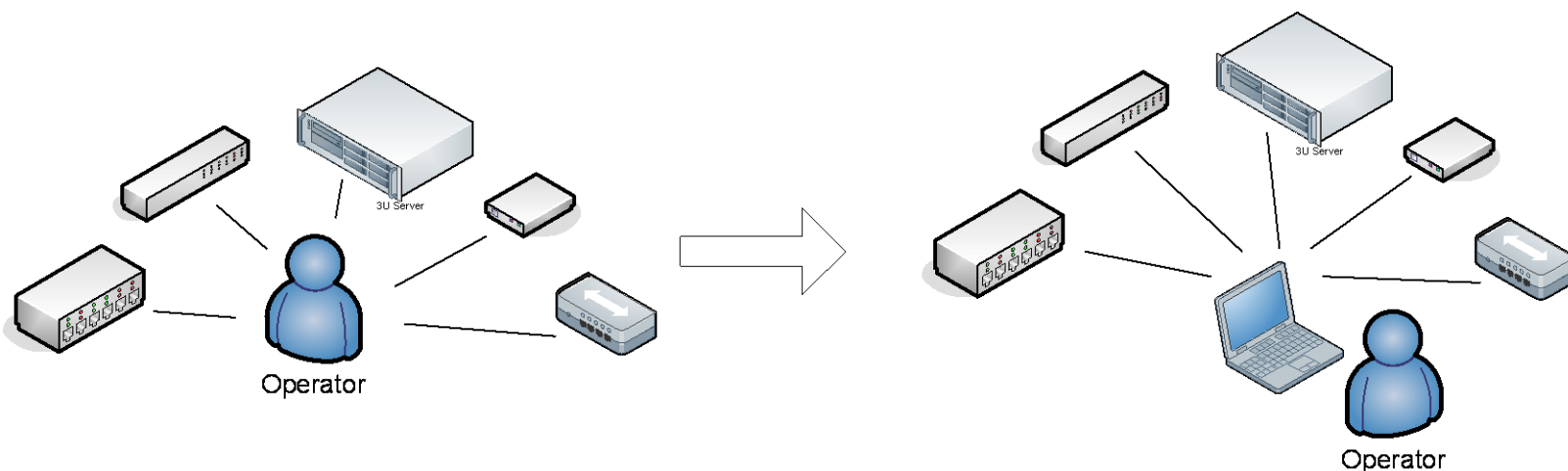
# Evolucija tehnologija za upravljanje uređajima



- ❑ **Nekadašnja je mjerna oprema zahtijevala izravan nadzor i upravljanje od strane korisnika**
- ❑ **S obzirom kako se čitav posao obavljao uvelike ručno, čitav proces mjerenja bio je spor i zamoran, no bio je i neotporan na ljudske pogreške tijekom postavljanja i korištenja mjernog sustava te unošenja i prepisivanja podataka**
- ❑ **Kasnih 1960-ih nekoliko tvrtki u svijetu započinje s razvojem specijaliziranog sklopovlja i opreme za povezivanje instrumenata i računala, što znanstvenom i stručnom osoblju mjernih laboratorija uvelike olakšava rad**

# Tehnologije komunikacijskih sučelja

- ❑ Umjesto da nadzire svaki instrument pojedinačno, operator koristi osobno računalo kako bi upravljao postupkom mjerenja
- ❑ Instrumentima više nije bilo potrebno fizički pristupati i upravljati njihovim radom te očitavati podatke putem kontrolne ploče, već je taj posao u cijelosti moglo izvršavati osobno računalo



- ❑ **Za mjerne sustave GPIB sabirnica već nekoliko desetljeća vodeći je način povezivanja i upravljanja instrumentima upravo zbog svoje jednostavnosti i robusnosti. No, njena se primjena nije dovoljno raširila (cijena?!) kako bi ju se počelo ugrađivati kao uobičajen dio osobnih računala.**
- ❑ **Sklopovska oprema koju propisuje GPIB standard (primjerice komunikacijske kartice ili mostovi, kabeli, konektori i sl.) još uvijek su prilično skupi.**
- ❑ **Premda veliki broj mjerne opreme danas u sebi ima ugrađenu podršku za povezivanje putem GPIB sabirnice, novije komponente sve češće dolaze i s alternativnim rješenjima kao što su USB, IEEE 1394 (poznatiji pod nazivima *FireWire* ili *i.Link*) ili Ethernet.**

# IEEE 488 (GPIB, HP-IB)

---

- Godine 1965. tvrtka Hewlett-Packard razvija novo sučelje
- Ova sabirnica izvorno je prozvana *Hewlett-Packard Interface Bus*. Strukovna udruga *Institute of Electrical and Electronic Engineers* (IEEE) u svojim preporukama daje mu oznaku 488, pa ga se iz tog razloga ponekad naziva sabirnicom IEEE 488.
- No, najčešće ga se može pronaći pod njegovim općenitim nazivom *General Purpose Interface Bus* (GPIB).
- Bez obzira na te različitosti u imenovanju, specifikacije te sabirnice gotovo su identične kod svih proizvođača.





# GPIB - povijest

## □ IEEE 488.1 – 1975.

- normirane fizičke, električke i mehaničke karakteristike GPIB

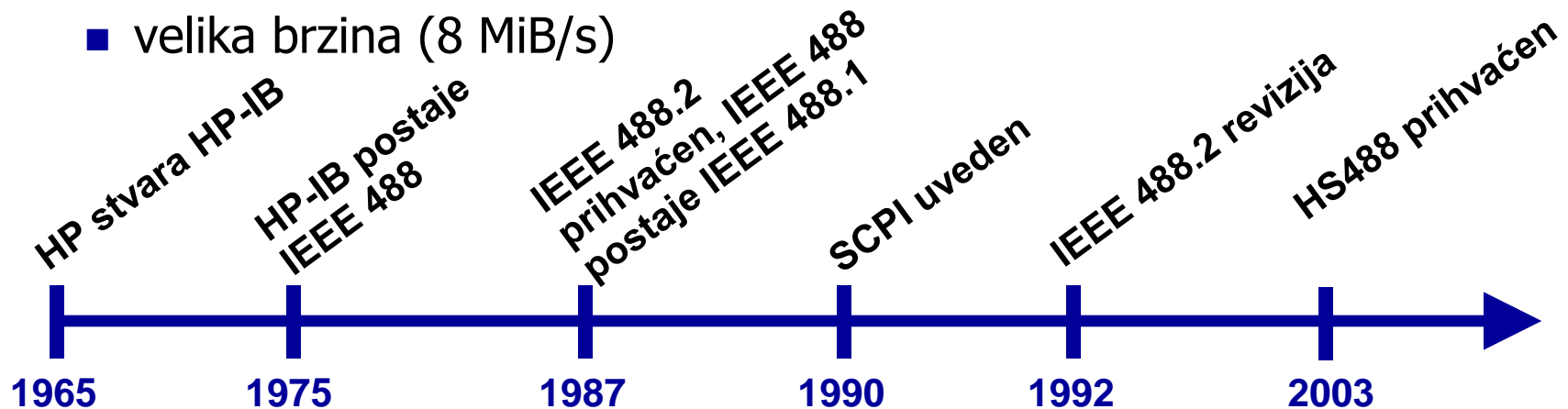
## □ IEEE 488.2 – 1987.

- normiran softver za kontrolere i upravljanje uređajima

## □ Normirane upravljačke naredbe za programibilnu instrumentaciju (SCPI) – 1990.

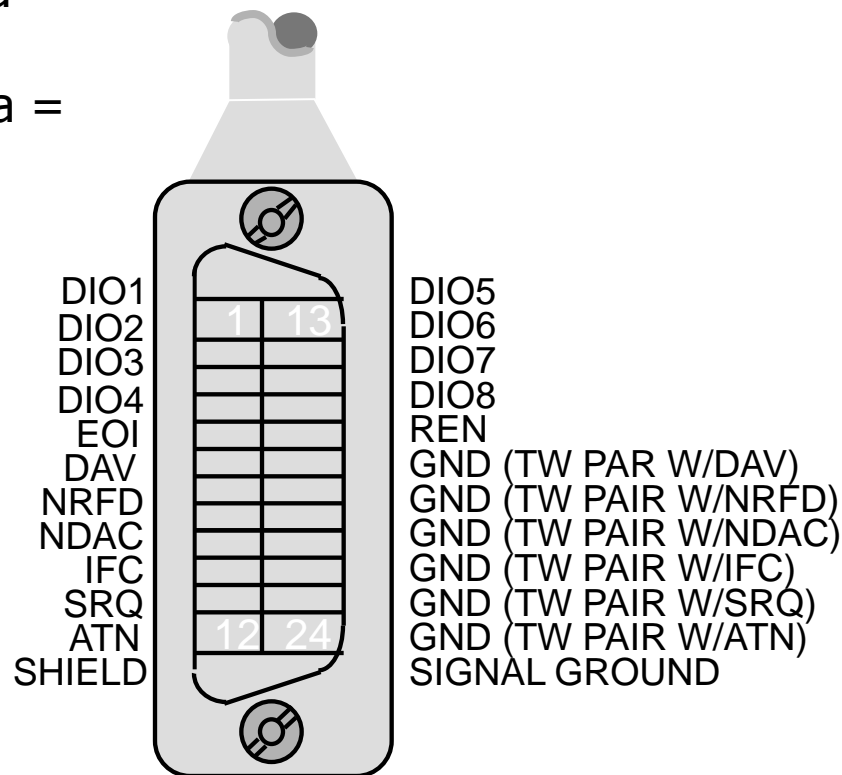
## □ HS488 (prihvaćena 2003. pri IEEE)

- velika brzina (8 MiB/s)



# GPIB karakteristike

- **8-bitno paralelno sučelje**
- **24 linije**
- **Specifikacije kabela**
  - Maksimalna duljina kabela između uređaja = 4 m
  - Maksimalna ukupna duljina kabela = 20 m
  - Maksimalan broj uređaja = 15 (min 2/3 uključenih)
- **Brzina sabirnice**
  - 1,5 MiB/s sa IEEE 488.1
  - 8 MiB/s sa HS488
- **Raspon adresa uređaja**
  - 0 do 30

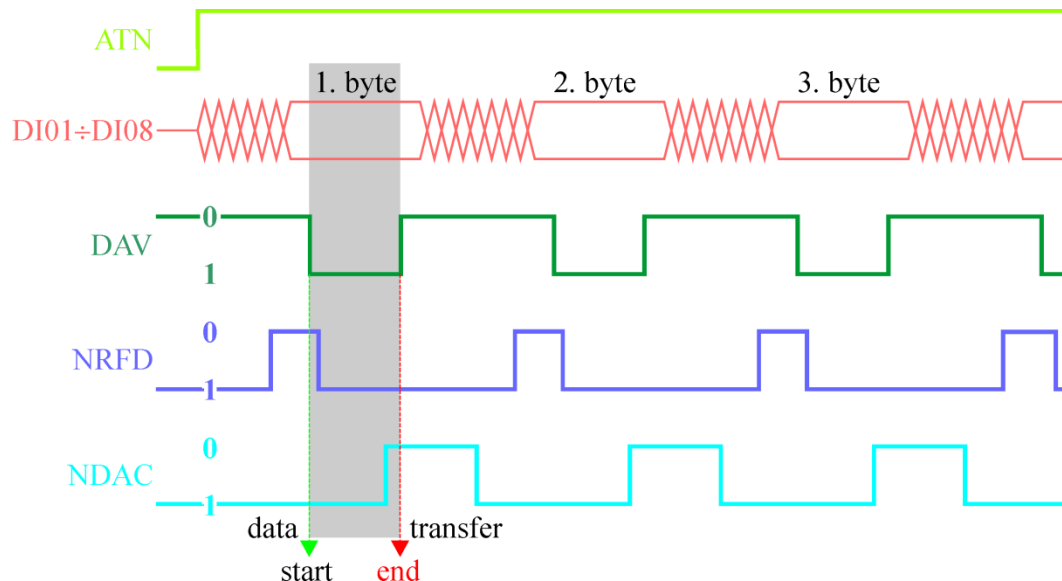


# GPIB karakteristike

□ Linije podataka: DIO1 ÷ DIO8

□ Linije za upravljanje sabirnicom:

- ATN – Attention
- IFC – Interface Clear
- REN – Remote Enable
- SRQ – Service Request
- EOI – End or Identify

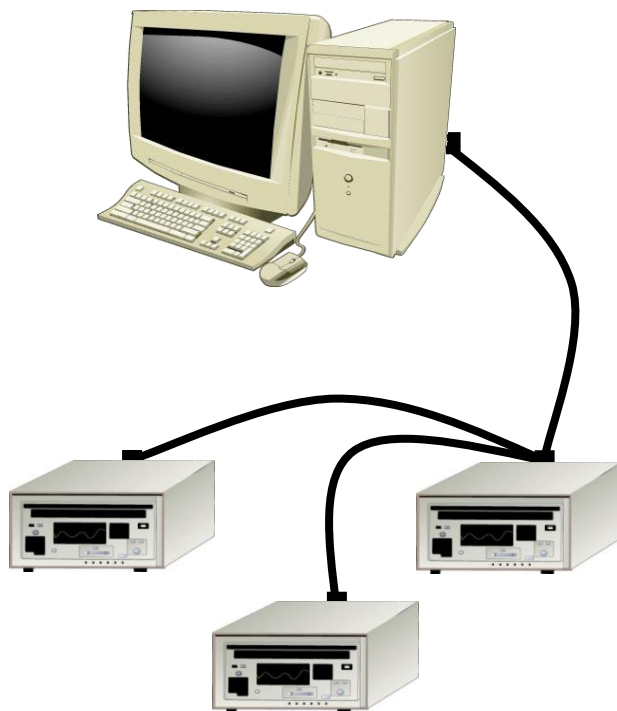


□ Linije za upravljanje podacima:

- DAV – Data Valid
- NRFD – Not Ready for Data
- NDAC – Not Data Accepted

□ **Negativna TTL logika:** logička jedinica za  $U \leq 0,8 \text{ V}$ , a logička nula za  $U \geq 2 \text{ V}$

# GPIB konfiguracija



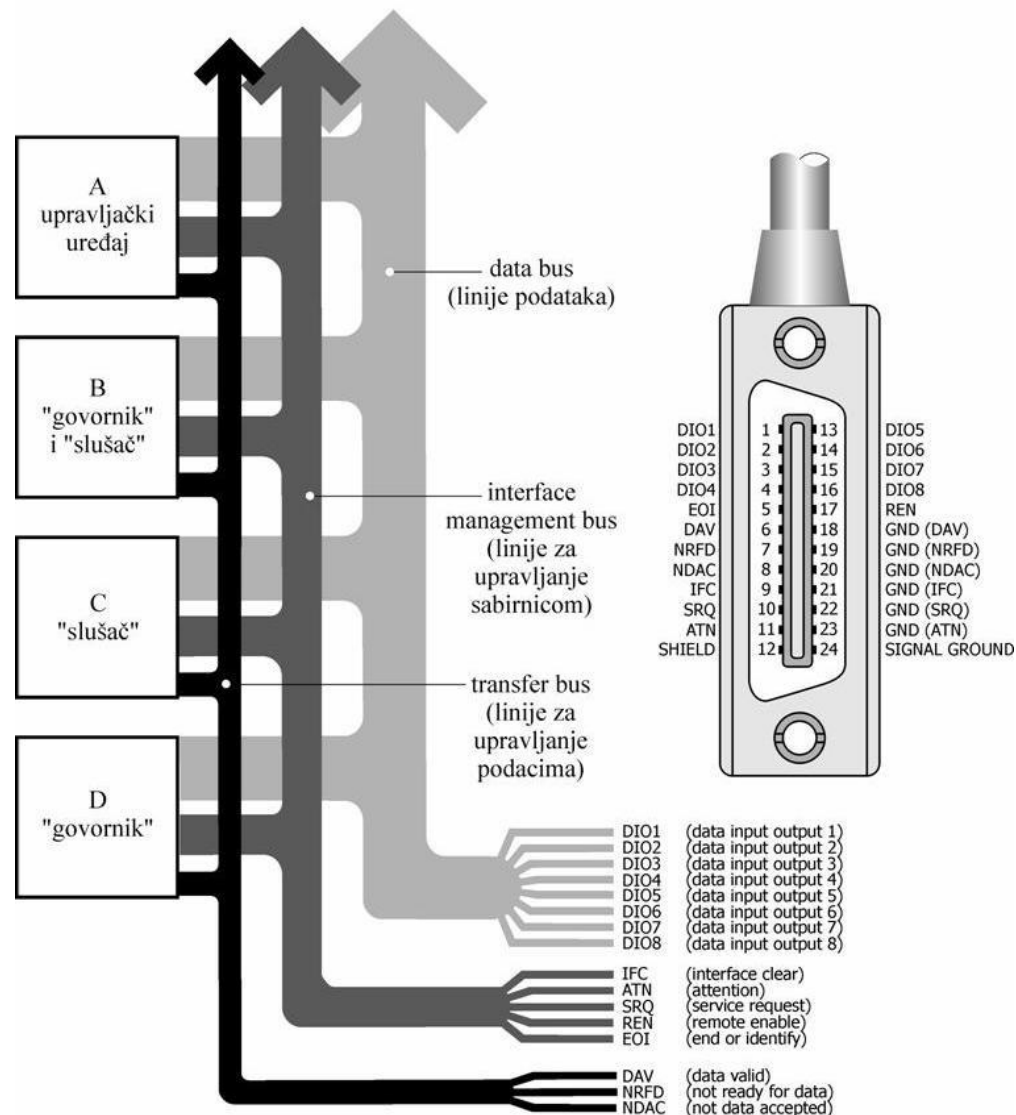
**Zvezdasta konfiguracija**



**Linearna konfiguracija**

**Moguće su bilo koje kombinacije konfiguracija pri spajanju uređaja!**

- ❑ **Sabirnica koristi 16 aktivnih linija (ostatak do ukupno 24 linije su spojeni na masu). Linije su podijeljeni u tri grupe: osam ih se koristi za prijenos podataka, tri za sinkronizaciju veze, a preostalih pet za adresiranje i upravljanje sabirnicom.**
- ❑ **Oprema na sabirnici dijeli se na tri osnovne skupine: upravljačka jedinica sabirnice (engl. *controller*, kojeg najčešće čini kartica u osobnom računalu) te uređaji „govornici“ (engl. *talkers*) i „slušači“ (engl. *listeners*), premda svaka komponenta može imati višestruke uloge.**
- ❑ **Primjerice, digitalni multimeter koji je upravljan putem sabirnice ponašat će se kao „slušač“ tijekom procesa postavljanja parametara rada, no kada vraća podatke mjerenja bit će „govornik“.**



## □ Slična komunikaciji na predavanjima

- GPIB kartica (kontroler koji upravlja)
  - Nastavnik
- Uređaji (talker/listener)
  - Studenti
- Service Requests (SRQ)
  - Studenti dižu ruke da postave pitanje
- Poruke (Messages)
  - Pričanje između nastavnika i studenta
  - Pričanje između studenta i studenta (rijetko 😊)

- ❑ **IEEE-488.1 formalizirao je mehaničke, električke i osnovne parametre protokola za GPIB, međutim nije specificirao format naredbi ili podataka. IEEE 488.2 je to ispravio i normirao osnovnu sintaksu i format za naredbe, strukturu podataka, ispravljanje pogrešaka, itd.**
- ❑ **IEEE-488.2 je nadogradio IEEE 488.1 tako da oprema može biti usklađena s IEEE 488.1 bez da je usklađena s IEEE 488.2**
- ❑ **IEEE 488.2 funkcije uključuju:**
  - GPIB U/I funkcije za primanje i slanje podataka GPIB uređajima (read i write)
  - Upravljanje sabirnicom za različite opće radnje
  - Funkcije za podešavanje različitih parametara
  - Moguće je izdavati naredbe jednom uređaju, više njih, itd.



- ❑ **Dok je IEEE-488.1 definirao hardver, a IEEE-488.2 sintaksu, još uvijek nije postojao standard za naredbe za pojedinu vrstu opreme. Naredbe za pojedinu vrstu instrumenata (npr. multimetri) jako su se razlikovale od proizvođača do proizvođača, pa čak između različitih modela istog proizvođača**
- ❑ ***Standard Commands for Programmable Instruments* (SCPI) u programskom smislu predstavlja nadgradnju na IEEE-488.2, jer donosi dodatne preporuke u vezi obveznih i preporučenih naredbi kod pojedinih vrsta instrumenata te načina njihova programiranja.**
- ❑ **Važno je napomenuti kako SCPI nije nužno vezan za GPIB protokol već je prijedlog koji je primjenjiv i na druge sabirnice jer se ne vezuje uz sklopovski već programski dio postojećih i budućih standarda, a još je uvijek u fazi razvoja.**

# Struktura GPIB (SCPI) standarda

---

**IEEE 488.1**    Uspostava i upravljanje vezama, sklopovske (mehanicke i elektricke) karakteristike

**IEEE 488.2**    Definicija sintakse naredbi, popis cesto korištenih naredbi, strukture podataka na sabirnici

**SCPI**            Uspostava hijerarhije naredbi, definiranje strukture odgovora, definicija skupa obveznih naredbi

- ❑ **Jako velika baza instrumenata: 5 do 10 milijuna instrumenata sa GPIB sabirnicom**
- ❑ **Dogovoren standard koji je preživio 40 godina**
- ❑ **Robustan i pouzdan**
  - Handshaking, oklopljeni kabele, error handling, etc.
- ❑ **Dovoljno brz prijenos podataka**
  - Relativno brz 1,5 MiB/s (IEEE 488.1)
  - Vrlo brz 8 MiB/s (HS488)
- ❑ **Jednostavan za uporabu korisnicima te za implementiranje proizvođačima**

# Ostale sabirnice za samostojeće uređaje

---

- **Serijska (RS-232)**
- **Ethernet**
- **USB**
- **IEEE 1394**

# Serijska veza (RS-232) - osnovno

---

- ❑ **Koristi se za priključivanje dodatnih uređaja na PC (miševi i slično)**
- ❑ **Brzine do 20 Kibit/s za osnovni RS-232-C, pa do 10 Mibit/s za napredni RS-485**
- ❑ **Jeftin za implementiranje**
- ❑ **Riječ je o standardima serijske razmjene podataka koji su izvorno razvijeni za potrebe povezivanja terminalnih uređaja s modemima i pisačima**
- ❑ **Premda su sve rjeđi, još uvijek ih se može pronaći kao dio mjerne opreme**

- ❑ **Pod nazivom Ethernet nalazi se čitava skupina standarda koji propisuju umrežavanje u lokalne mreže (engl. *Local Area Network*, LAN) a koji se mogu pronaći u skupini IEEE 802.3**
- ❑ **Oni određuju različite slojeve komunikacije (od definiranja korištenih konektora i vrsta kabela, pa do samih protokola uspostave veze)**
- ❑ **Podrška za Ethernet danas je uobičajena u svim osobnim računalima, no sve ju se češće može pronaći i u samostalnoj mjernoj opremi**

- ❑ **Najveće prijenosne brzine povećavaju se svakih nekoliko godina, a u ovom trenutku može se reći kako je 10 Gibit/s najveća brzina za prijenos preko bakrenih vodova te 100 Gibit/s preko optičkih kabela**
- ❑ **S obzirom kako su računalne mreže temeljene na Ethernetu izuzetno raširene, predstavljaju idealan način za međusobno povezivanje i upravljanje mjernom opremom (premda istovremeno treba imati na umu kako laka dostupnost tog medija unosi i određenu razinu opasnosti o čemu treba voditi brigu)**

## □ **TCP/IP specifikacija protokola za uređaje**

- Poznat kao VXI-11 od 1995.
- TCP/IP Instrument Protocol Specification
- Definiran od VXI konzorcija zbog velikog interesa

## □ **Što je to??**

- "GPIB preko Etherneta"
- Prati IEEE 488.2 model za uređaje

## □ **Koristi remote procedure calls (RPC) preko TCP/IP**

## □ **Definira standardne pakete podataka za read, write, trigger, status byte, itd.**



# LXI (LAN eXtension for Instrumentation)

---

- ❑ **LXI platforma povezuje uređaje s Ethernetom preko sveprisutnog Interneta**
- ❑ **To je i standard za male, modularne uređaje koji koriste jeftini, LAN (Ethernet) kao sabirnicu za mjerni sustav**
- ❑ **LXI je razvijen da omogući sve prednosti modularnih uređaja bez potrebe za kućištem**
- ❑ **Standard se kontinuirano razvija da iskoristi sve prednosti razvoja LAN-a**
- ❑ **LXI podržava sintetičke instrumente (softver koji obavlja specifičnu funkciju poput digitalne obrade podataka, analize, kondicioniranje signala, itd), peer-to-peer umrežavanje, nedostupne na bilo kojoj drugoj platformi**
- ❑ **Još uvijek nije široko prihvaćen**

# Što je LXI sustav?

---

**LXI (LAN eXtension for Instrumentation)**

**Jedan (ili više) osobnih računala**

**--- se spaja ---**

**s jednim ili više uređaja**



**LXI**



- ***Universal Serial Bus (USB)* je brza serijska sabirnica koja se danas nalazi u svim komercijalnim računalima, no sve češće i u mjernoj opremi. Postoji nekoliko varijanti izvedbe ove sabirnice s različitim prijenosnim brzinama:**
  - USB 1.1 (rujan 1996.) omogućuje prijenosne brzine od 1,5 Mibit/s do 12 Mibit/s
  - USB 2.0 (travanj 2000.) omogućuje prijenosne brzine do 480 Mibit/s tj. 60 MiB/s
  - USB 3.0 (prijedlog objavljen u rujnu 2007.) zasad je još u razvojnoj fazi. Uz primjenu optičkih vlakana za međusobno povezivanje opreme donosi prijenosne brzine do čak 5 Gibit/s.

- ❑ **S obzirom kako su priključni kabeli koji se koriste u inačicama 1.1 i 2.0 načinjeni od bakrenih vodova te u pravilu nisu oklopljeni, zbog velike osjetljivosti na vanjske elektromagnetske smetnje nisu prikladni za sve radne okoline.**
- ❑ **Dodatni nedostatak je najveća duljina kabela koji čini sabirnicu propisana od standarda USB 2.0 od 5 m što značajno otežava korištenje u laboratorijskim i industrijskim okolinama.**
- ❑ **Taj je nedostatak moguće izbjeći korištenjem dodatne opreme kojom se USB sabirnica može produljiti od 50 m (korištenjem 4 bakrene parice) do 10 km (korištenjem optičkih vodova).**

- ❑ ***USB Test & Measurement Class* (USBTMC) je protokol koji čini nadgradnju nad postojećim dijelom protokola USB koji pruža mogućnost komunikacije s instrumentima slično kao što se to odvija GPIB protokolom.**
- ❑ **Promatrano sa strane korisnika, USB uređaj ponaša se identično kao i GPIB uređaj jer podržava sve značajke tog protokola.**
- ❑ **Na taj je način proizvođačima mjerne opreme moguće izuzetno lako izvršiti nadogradnju komunikacijskog sučelja dok se zadržava kompatibilnost programske podrške.**

- ❑ **Tvrtka Apple Inc. započinje s razvojem ovog standarda krajem 1980-ih, da bi 1995. započelo i komercijalno korištenje ove sabirnice. Poznatija pod zaštićenim nazivima tvrtki koje ga koriste, poput *FireWire* (Apple), *i.Link* (Sony) ili *DV* (Panasonic)**
- ❑ **U početku je osmišljena kao zamjena za paralelnu SCSI (*Small Computer System Interface*) sabirnicu, no svoju najširu primjenu pronalazi za potrebe povezivanja profesionalne, a s vremenom i amaterske digitalne audio i video opreme**
- ❑ **Sabirnica podržava brzine prijenosa do 800 Mibit/s, a u budućnosti standard predlaže optičke veze i prijenosne brzine do 6,4 Gibit/s**

- ❑ **IEEE 1394 također ima protokol za upravljanje GPIB uređajima preko 1394 sabirnice**
- ❑ **Protokol je razvijen od 1394 Trade Association i poznat je kao "Industrial Instrumentation Control Protocol" ili IICP. Još uvijek nije prihvaćen kao norma**
- ❑ **Omogućuje i korištenje GPIB uređaja preko 1394 sabirnice. Taj dio norme će biti poznat kao IICP488**
- ❑ **Koristi se 1394 asinkrona komunikacija i sastoji se od jedan na jedan (one-to-one) veze**

# Usporedba sabirnica za samostojeće uređaje

	<b>GPIB</b>	<b>RS-232</b>	<b>Ethernet</b>	<b>USB</b>	<b>IEEE 1394</b>
<b>Maksimalna brzina</b>	<b>1,5 MiB/s 8 MiB/s (HS488)</b>	<b>20 Kibit/s</b>	<b>10 Gibit/s</b>	<b>60 MiB/s</b>	<b>800 MiB/s</b>
<b>Dostupnost</b>	<b>&gt;10 000</b>	<b>&gt;10 000</b>	<b>&lt;100</b>	<b>&lt;100</b>	<b>&lt;10</b>
<b>Kašnjenje (First Byte and Service Request)</b>	<b>Malo</b>	<b>Malo /srednje</b>	<b>veliko</b>	<b>veliko</b>	<b>veliko</b>
<b>Maksimalan broj uređaja</b>	<b>15</b>	<b>1</b>	<b>Nema limita</b>	<b>127</b>	<b>63</b>
<b>Maksimalna duljina kabela</b>	<b>20 m</b>	<b>15 m</b>	<b>Nema limita</b>	<b>30 m</b>	<b>4,5 m</b>

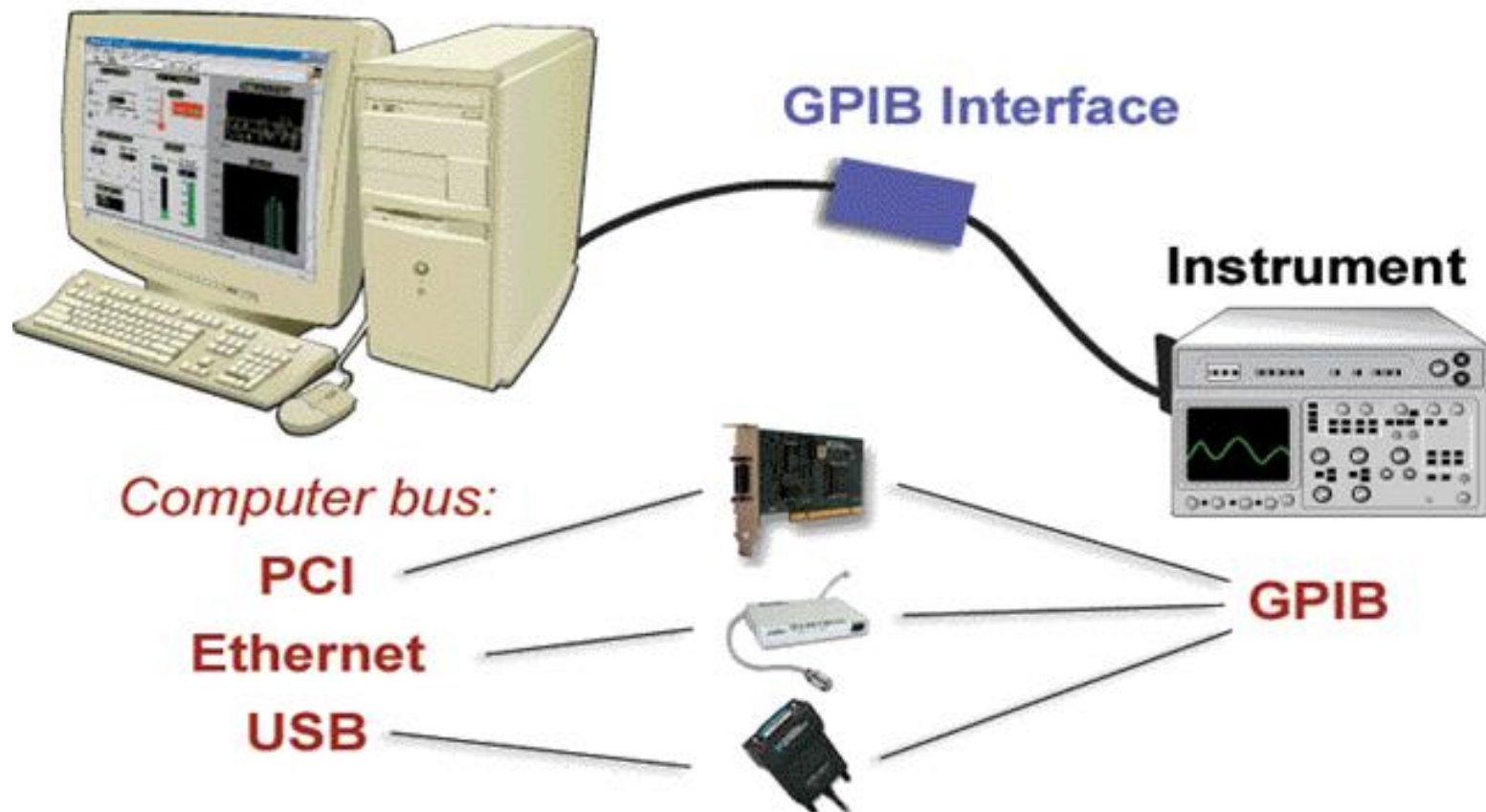


# Tehnologije komunikacijskih sučelja

- Današnji je trend koristiti računala za vođenje mjernih procesa, a pri čemu se koriste i neka sučelja novijeg datuma, kao što su *Universal Serial Bus (USB)*, *Ethernet* te možda još uvijek neka starija poput serijske (RS-232) ili paralelne veze (IEEE 1284).
- Sve češće se mogu pronaći i posebna sučelja koja služe kao premosnice (engl. *bridge*) između dvaju različitih komunikacijskih sučelja (primjerice veza USB-GPIB) i tako olakšavaju korištenje na prijenosnim računalima i ostalim računalima koja u sebi nemaju ugrađene komunikacijske kartice.



# GPIB mostovi: od bilo koje sabirnice do GPIB



# Tehnologije komunikacijskih sučelja

---

- ❑ **Zadnjih godina sve češće susreću tzv. modularni instrumenti, koji se kao kartice ugrađuju u posebno načinjena računala te se međusobno povezuju posebnim sabirnicama, što daje mogućnost prikupljanja i međusobne obrade podataka u stvarnom vremenu.**
- ❑ **Neke od tehnologija koje su zaživjele u široj upotrebi jesu *VME Extension for Instrumentation (VXI)*, koja se oslanja na *Versa Module Eurocard (VME)* sabirnici te predstavlja prvi pokušaj standardizacije korištenja mjerne opreme za industrijske potrebe. Osmišljen je s ciljem povećanja prijenosne brzine između povezanih uređaja te smanjenja dimenzija ugrađenih uređaja.**
- ❑ **Druga korištena sabirnička tehnologija jest *PCI Extension for Instrumentation (PXI)* koja je temeljena na široko rasprostranjenoj PCI (*Peripheral Component Interconnect*) sabirnici i donosi, a slično kao i VXI omogućava jednostavniju sinkronizaciju uređaja.**

# Usporedba modularnih sa samostojećim uređajima

## **Modularni uređaji**

- **Otvoreni**
- **Korisnički definirani**
- **Lagana integracija**
- **Nadogradivi**
- **Plati što trebaš**

## **Samostojeći uređaji**

- **Zatvoreni**
- **Definirani od proizvođača**
- **Ograničena integracija**
- **Ograničena nadogradnja**
- **Plati što dobiješ**

# Prednosti modularnih uređaja

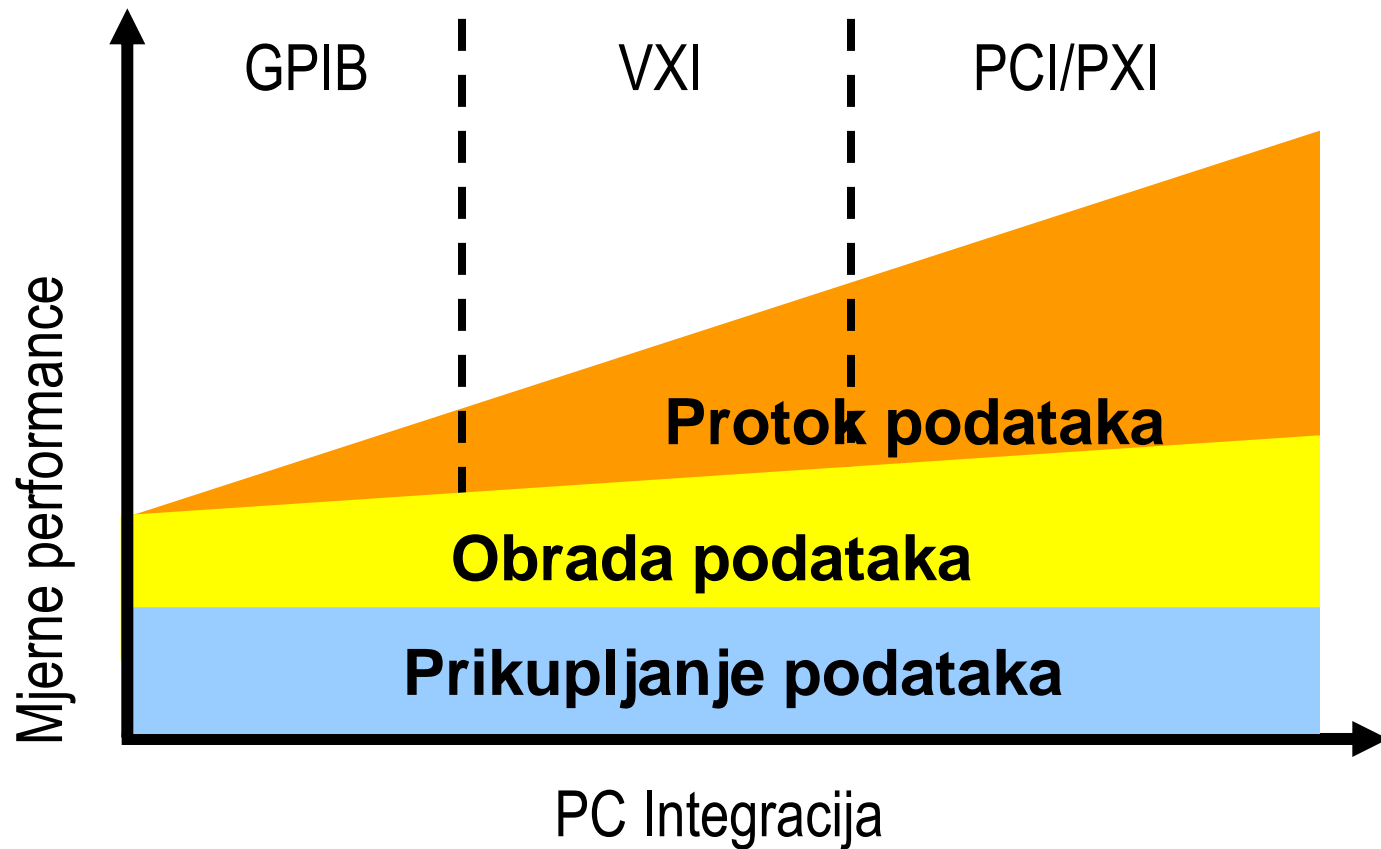
- ❑ Brži protok podataka
- ❑ Bolja sinkronizacija uređaja
- ❑ Bolja povezanost hardvera sa softverom
- ❑ Manje dimenzije
- ❑ Manji trošak

Modularni



Samostojeći





# PCI sabirnica - osnovno

- ❑ Standard u PC industriji
- ❑ Podržava ga velika većina velikih proizvođača (IBM, Apple, Sun, etc.)
- ❑ Instrumenti se priključuju kao svaka druga kartica



- ❑ **Bazirana na Versa Module Eurocard (VME) kućištu**
- ❑ **Standardiziran IEEE 1155**
- ❑ **Prvi pokušaj normiranja od više proizvođača**
- ❑ **Ciljevi**
  - Povećana zamjenjivost
  - Smanjena veličina
  - Povećanje performansi
  - Smanjenje cijene



## □ Uspjesi

- Smanjena veličina—manji sustavi
- Preciznije vrijeme i sinkronizacija
- Zamjenjivost instrumenata između različitih proizvođača

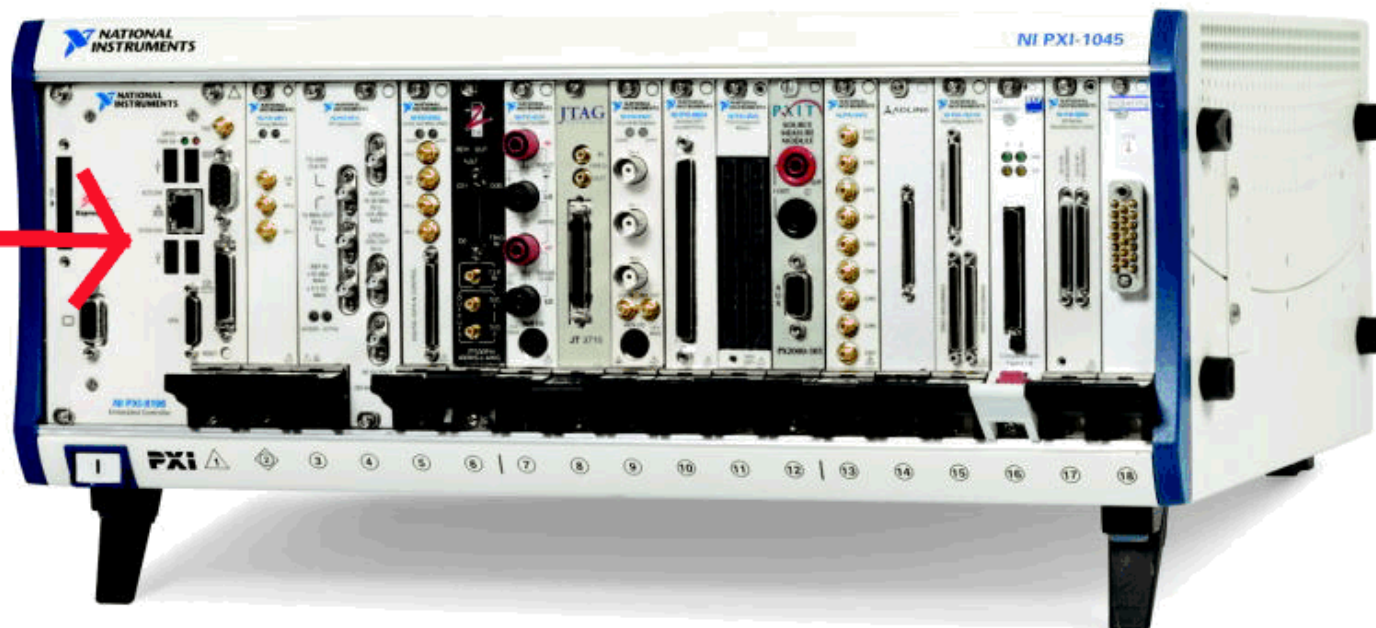
## □ Nedostaci

- Nema programskog standarda
- Nije smanjena cijena
- Nije univerzalno prihvaćen
- Nije jednostavan za korištenje

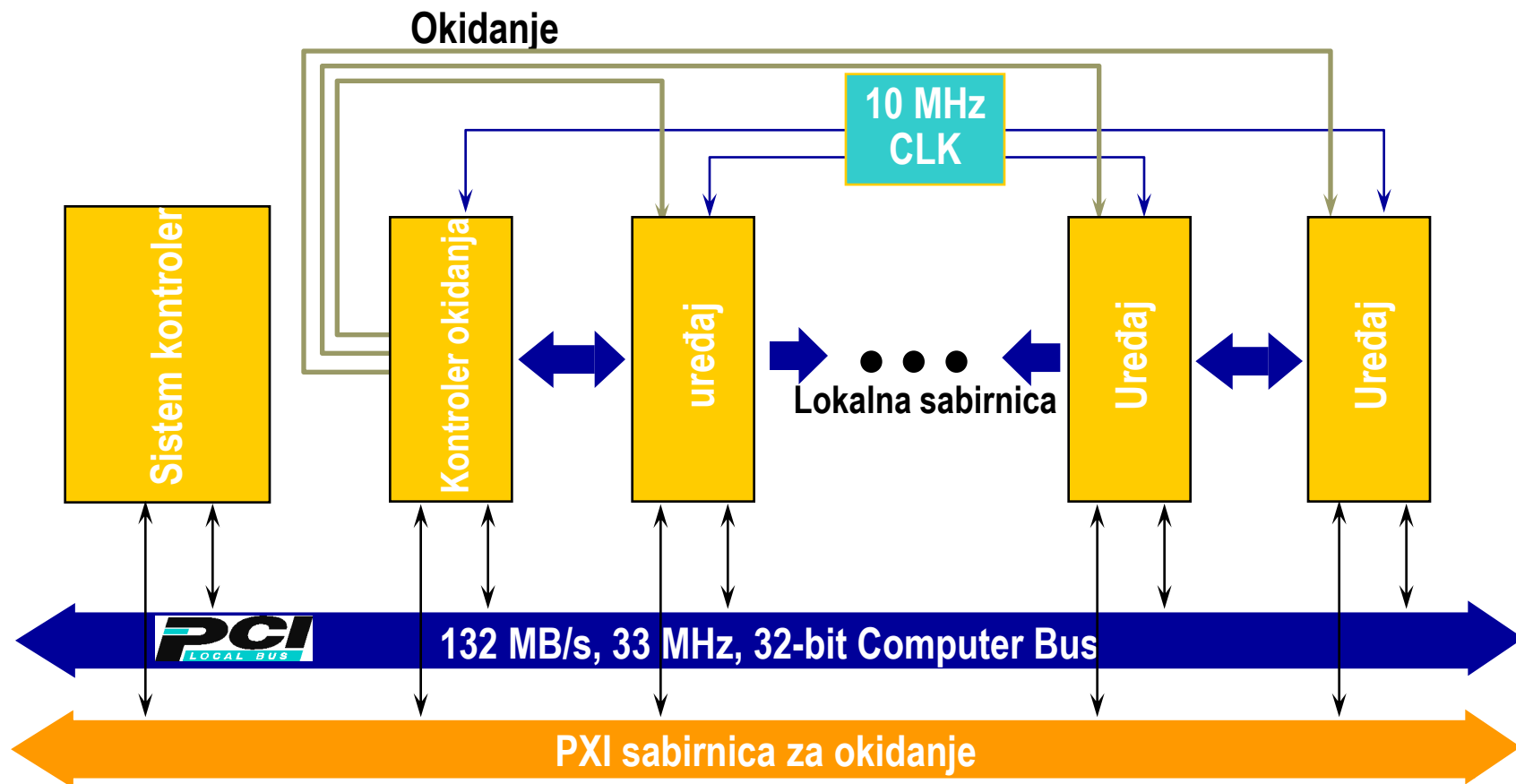


- ❑ **PXI omogućuje implementaciju i modularnost mjernih sustava**
- ❑ **Integrirano hardversko okidanje**
- ❑ **Precizna sinkronizacija**
- ❑ **Programski podržan (LabVIEW, LabWindows/CVI, Measurement Studio)**

UGRAĐENI  
KONTROLER



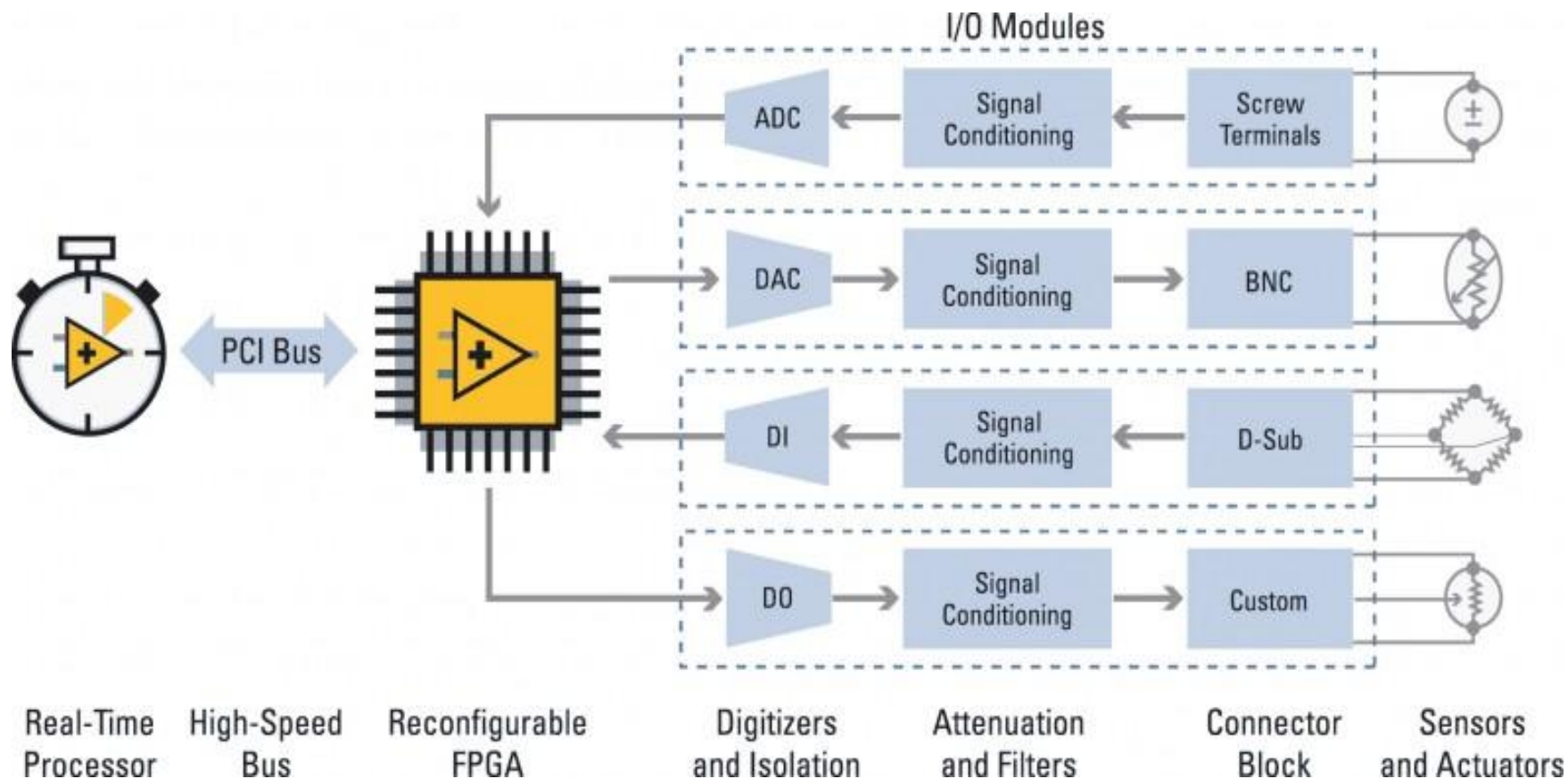
# PXI arhitektura



- ❑ **Osnovna ideja: spaja kontrolu i prikupljanje podataka s brzim i pouzdanim računalom namijenjeno samo toj svrsi**
- ❑ **Omogućena kontrola u realnom vremenu**
- ❑ **Mjerni sustav kompaktniji nego stolna računala**
- ❑ **Fleksibilnost se postiže s jako puno međusobno zamjenjivih ulazno/izlaznih kartica**



# CompactRIO



# Compact DAQ

- ❑ Sinkronizacija različitih modula pomoću integriranog kontrolera modula
- ❑ USB tehnologija
- ❑ Izolacija





- **Prikazana su različita sučelja za povezivanje instrumenata s računalom za ostvarivanje automatiziranih mjernih sustava**