

# Lekcija 9:

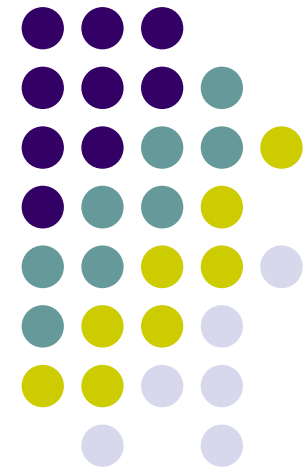
## *Komunikacijske mreže u stvarnom vremenu*

---

Prof.dr.sc. Jasmin Velagić  
Elektrotehnički fakultet Sarajevo









Kolegij: Distribuirani sistemi

2012/2013



## Sadržaj poglavlja:

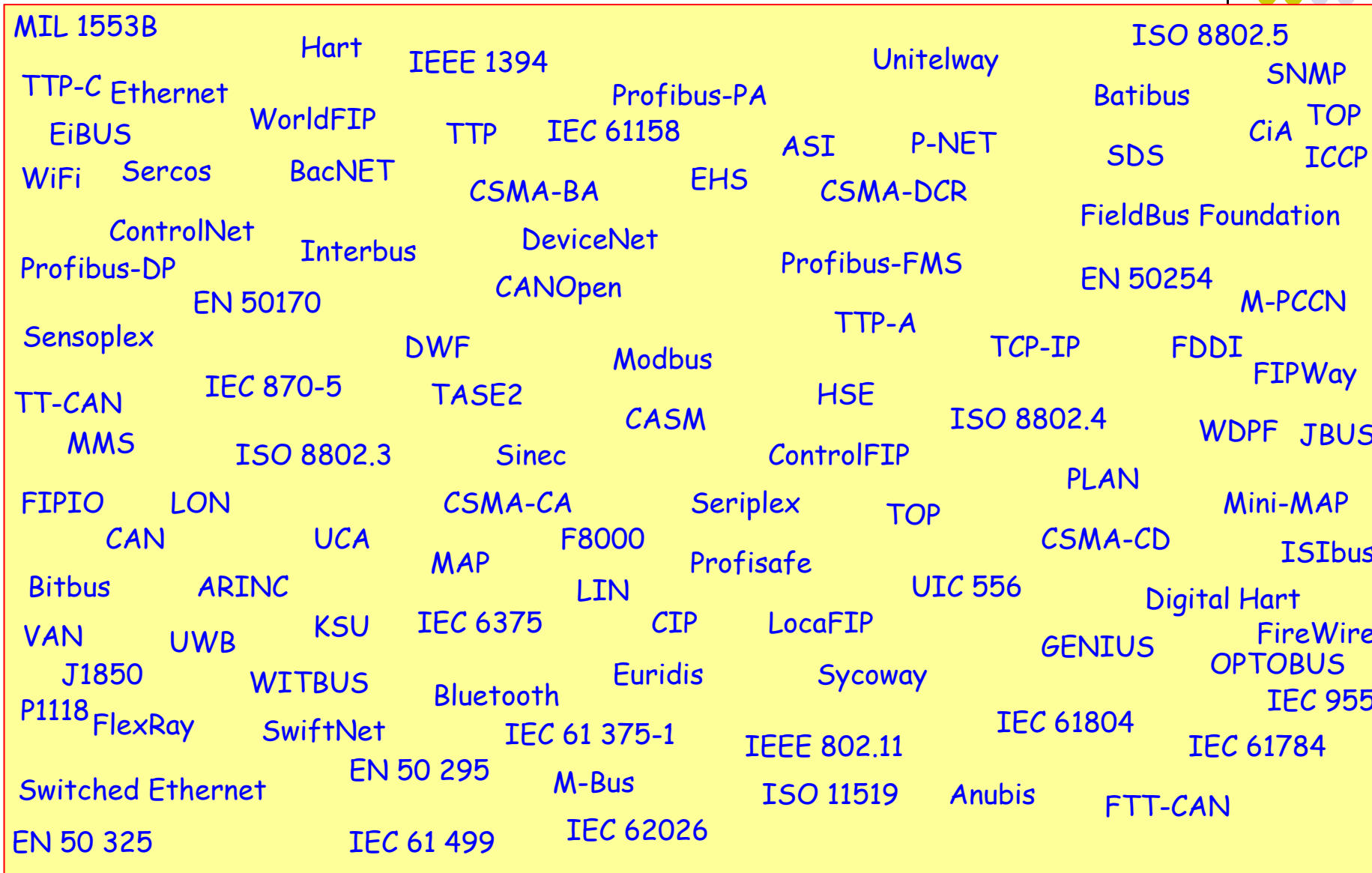
### Industrijske komunikacijske mreže

-  Fieldbus
-  Industrijski Ethernet
-  MODBUS
-  PROFIBUS
-  CAN
-  TTCAN
-  TTP
-  FlexRay



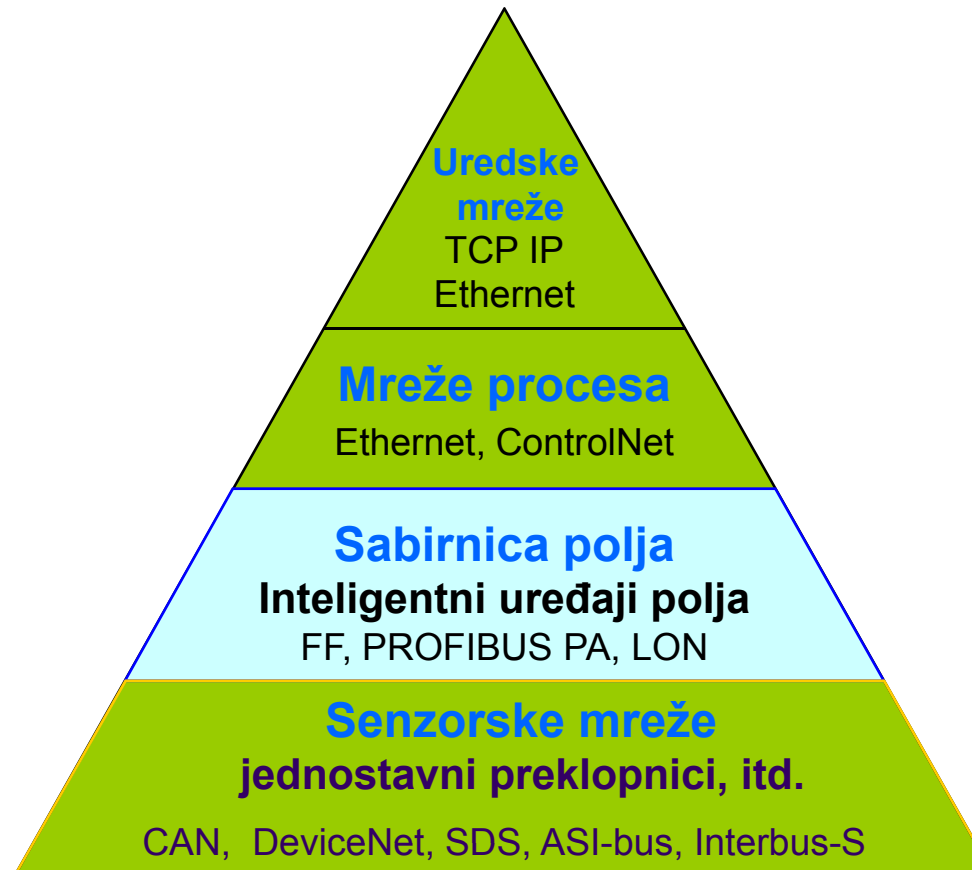
# 9. INDUSTRIJSKE KOMUNIKACIJSKE MREŽE

## Ko je ko?



# INDUSTRIJSKE KOMUNIKACIJSKE MREŽE

## Hijerarhija mreža zasnovana na sabirnicama polja



**Sabirnica polja (field bus) ovisi o:**

- ✓ njenoj funkciji u hijerarhiji,
- ✓ udaljenosti koju treba pokriti,
- ✓ količini podataka koju treba sakupiti.

## 9.1. Sabirnica polja (Fieldbus)

### Šta je sabirnica polja?

**Mreža podataka povezana sa sistemom upravljanja, sa sljedećim karakteristikama:**

- ✓ prijenos malog broja podatkovnih varijabli (procesne varijable) sa ograničenim kašnjenjem (1ms - 1s),
- ✓ nepovoljna okolina (temperatura, vibracije, EM-poremećaji, voda, sol,...),
- ✓ robusna i lagana instalacija sa kvalificiranim osobljem,
- ✓ visok integritet podataka (nema nedetektiranih pogrešaka),
- ✓ visoka raspoloživost podataka (redundantnost),
- ✓ sinhronizacija sata (od nekoliko  $\mu$ s do nekoliko ms),
- ✓ kontinuirani nadzor i dijagnosticiranje,
- ✓ niska cijena (5 € po čvoru),
- ✓ srednja brzina prijenosa podataka (50 kbit/s - 5 Mbit/s) na širokom opsegu (10m - 4 km),
- ✓ sporadični prijenos za “commissioning” (npr. download) i dijagnostiku,
- ✓ u nekim primjenama visok stupanj sigurnosti (ulje & gas, mine, hemijski procesi,...).



## Sabirnica polja (Fieldbus)

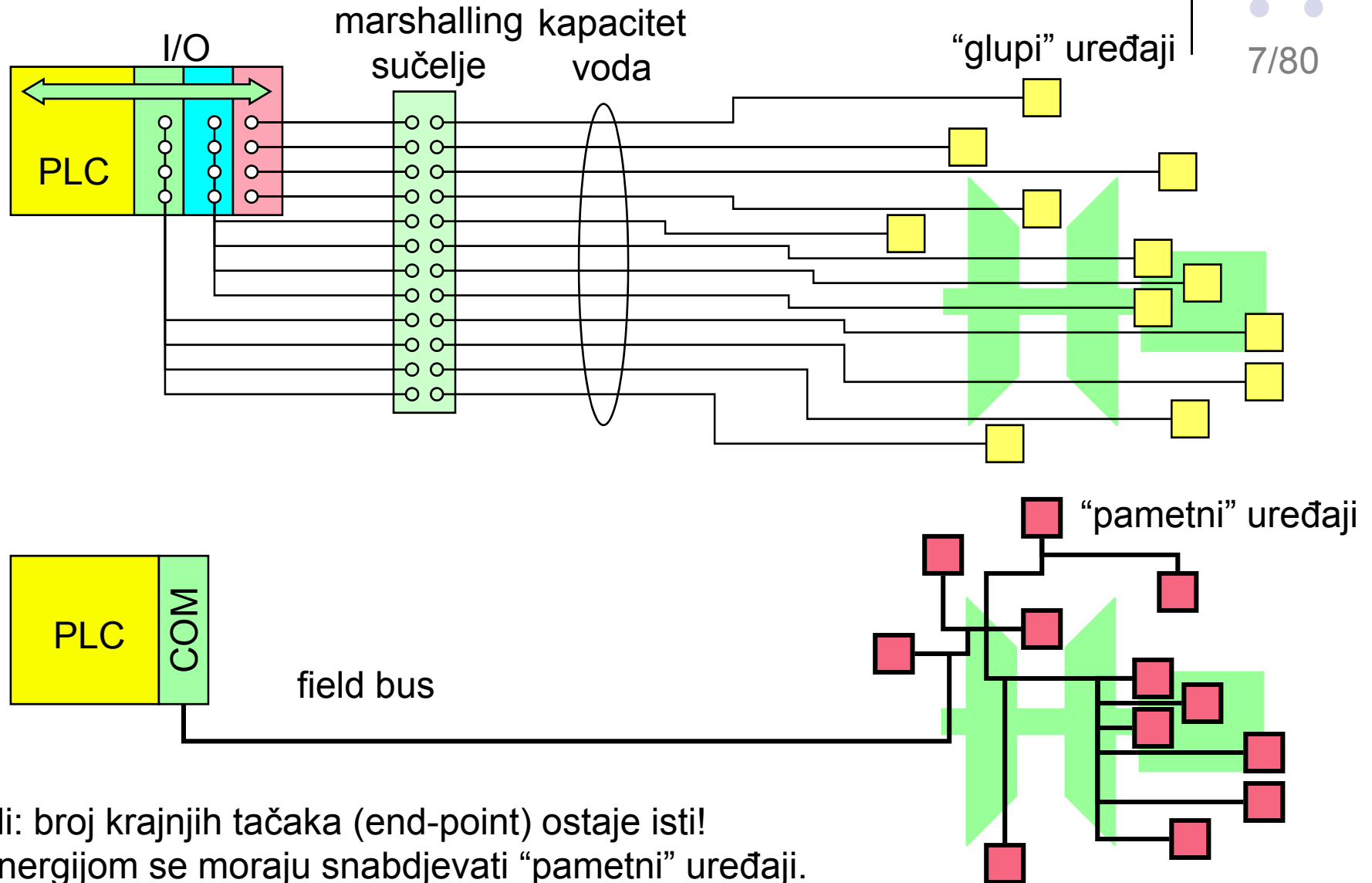
### Šta se očekuje od sabirnice polja?

- Smanjenje ožičenja.
- Povećanje modularnosti postrojenja (svaki objekat dolazi sa svojim računarom).
- Jednostavno lociranje kvara i održavanje.
- Pojednostavljena gradnja.
- Jednostavno proširenje.
- Velik broj “potrošnih” standardnih proizvoda za gradnju “Lego”-zasnovanih upravljačkih sistema.
- Mogućnost prodaje vlastitog razvoja (ako je zasnovano na standardu).



# Sabirnica polja (Fieldbus)

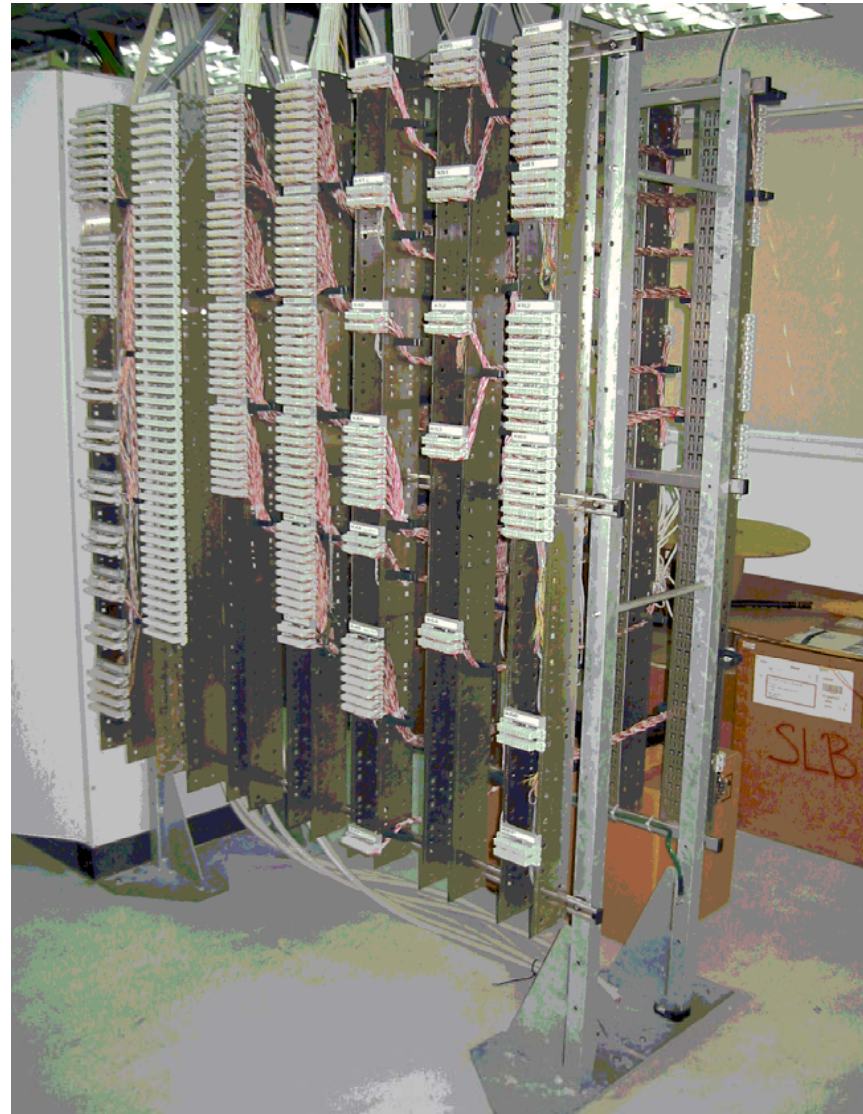
## Originalna ideja: smanjenje ožičenja



# Sabirnica polja (Fieldbus)

## Marshalling sučelje

Marshalling je sučelje između PLC-a i instrumentacijskih komponenti.





# Sabirnica polja (Fieldbus)

## Geografsko proširenje industrijskih postrojenja

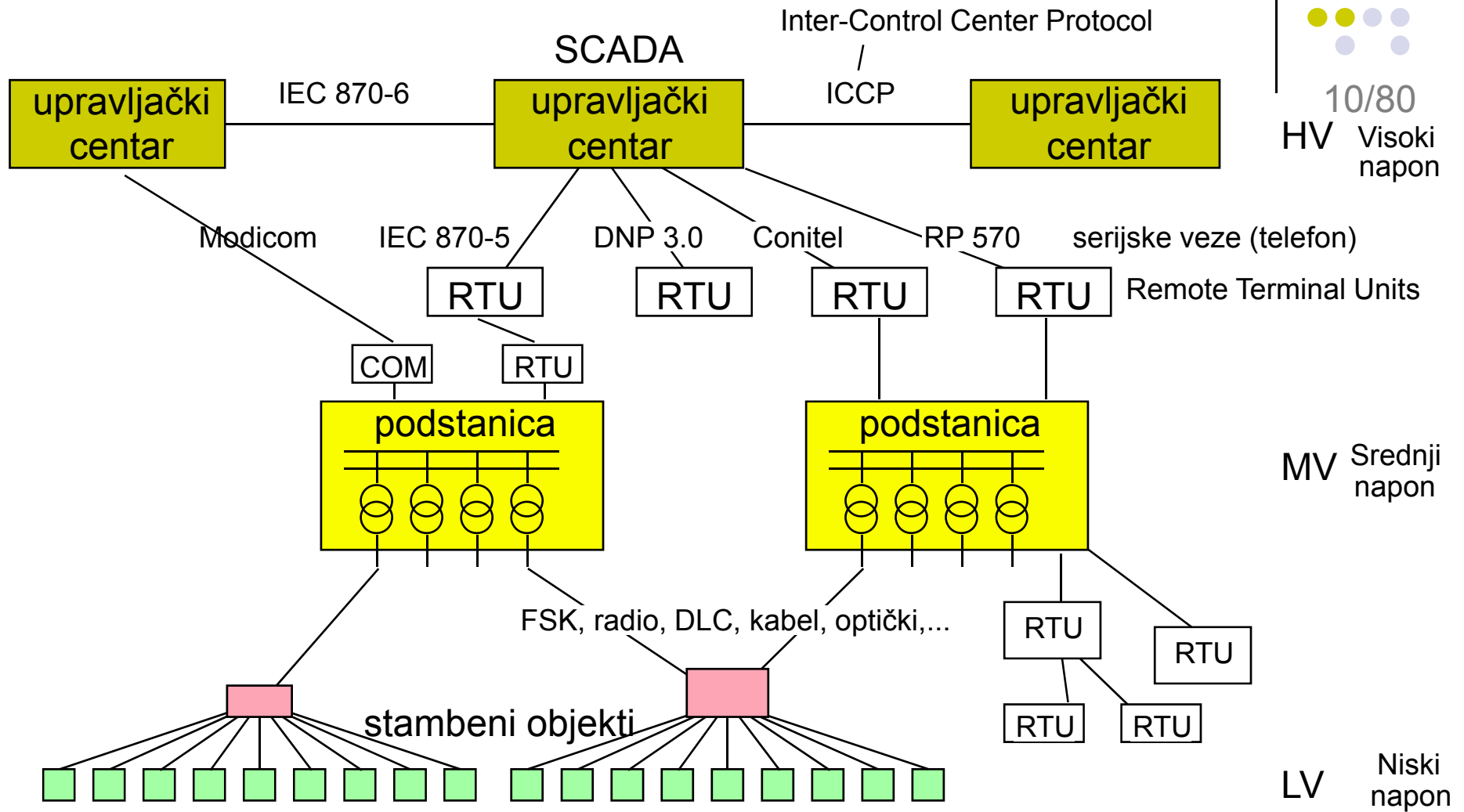
Sabirnice polja fizički povećavaju postrojenja:

- |                 |   |
|-----------------|---|
| 1 km .. 1000 km | <b>Prijenos &amp; distribucija</b><br>Upravljanje i nadzor velikih distribucijskih mreža: <ul style="list-style-type: none"><li>• voda - gas - nafta – el.energija - ...</li></ul>  |
| 1 km .. 5 km    | <b>Proizvodnja el. energije</b><br>Primarni izvori energije: <ul style="list-style-type: none"><li>• slapovi - ugalj - gas - nafta - nuklearna - solarna - ...</li></ul>  |
| 50 m .. 3 km    | <b>Industrijska postrojenja</b><br>Proizvodna postrojenja i postrojenja pretvorbe: <ul style="list-style-type: none"><li>• cementare – čeličane – silos hrane-<br/>printanje – papir – obrada mesa – fabrike stakla – luke -...</li></ul> |
| 500m .. 2 km    | <b>Automatizacija zgrada</b> <ul style="list-style-type: none"><li>• energija - klimatizacija – vatra - protuprovala - popravak - ...</li></ul>   |
| 1 m .. 1 km     | <b>Proizvodnja</b><br>Fleksibilne proizvodne ćelije - roboti  |
| 1 m .. 800 m    | <b>Vozila</b> <ul style="list-style-type: none"><li>• lokomotive - vozovi - tramvaji - trolejbusi - kombiji -<br/>autobusi - automobili - avioni – kosmički brod - ...</li></ul>  |



# Sabirnica polja (Fieldbus)

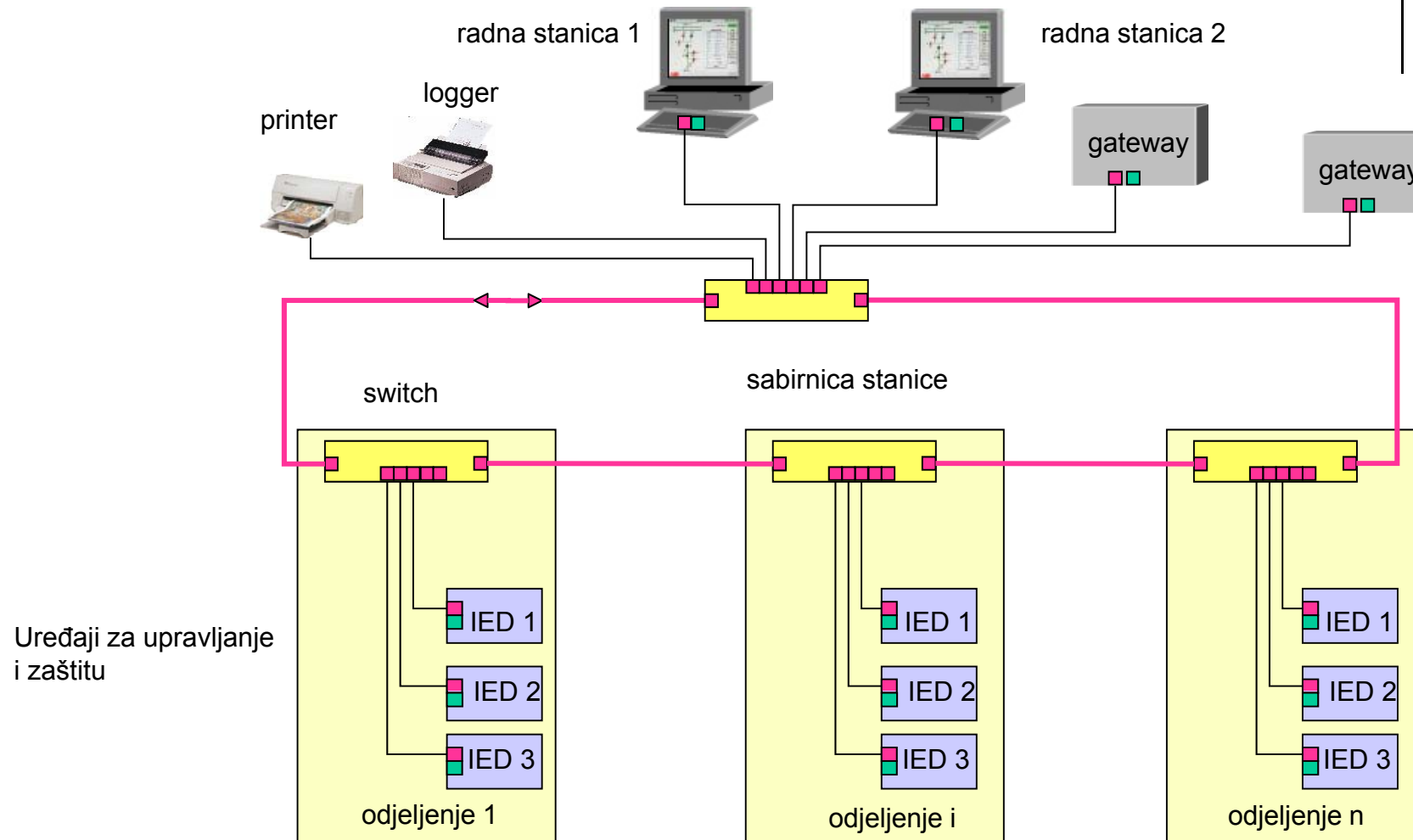
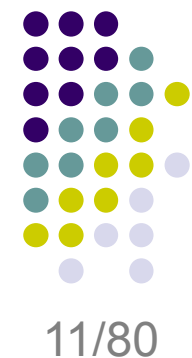
## Umrežavanje sabirnica: upravljanje el. mrežom



mala brzina, komunikacija na velikoj udaljenosti, može koristiti el. vodove ili telefonske modeme. Problem: raznolikost protokola, formata podataka, semantike...

# Sabirnica polja (Fieldbus)

## Podatkovne sabirnice podstanica



struktura podatkovnih sabirnica odražava se na strukturu podstanice

## Sabirnica polja (Fieldbus)

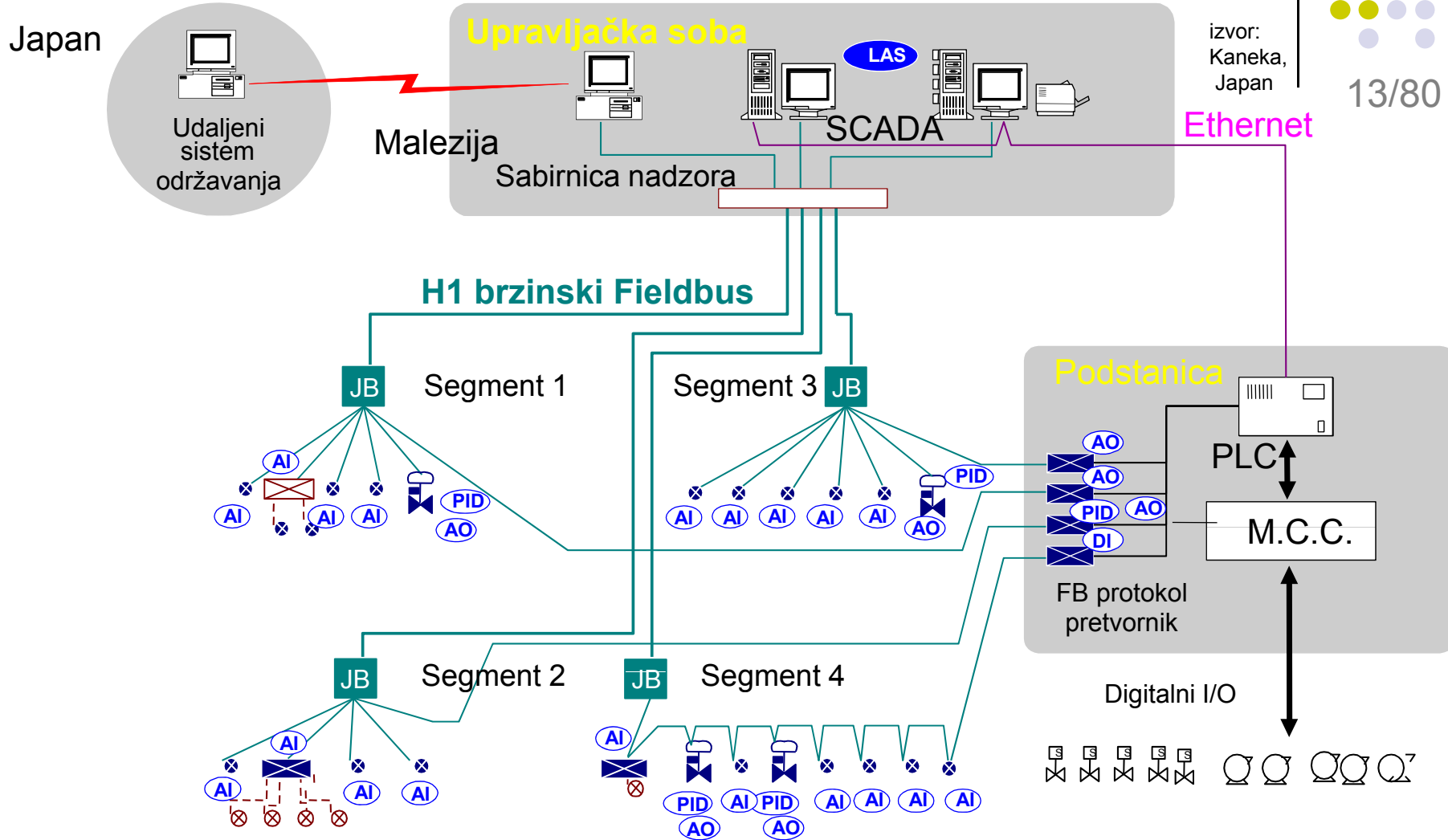
### Aplikacija Fieldbus-a: proces tretmana voda



- ❑ Pumpe, upravljačke elektrode, ventili, motori, senzori razine vode, mjeraci protoka, senzori temperature, mjeraci gasa ( $\text{CH}_4$ ), generatori, ..., raspoređeni su na području od nekoliko  $\text{km}^2$ .
- ❑ Neki dijelovi postrojenja nalaze se unutar eksplozivne atmosfere.
- ❑ Ožičenje je tradicionalno 4-20 mA, rezultirajući u dugim nizovima kabela (nekoliko 100 km).

# Sabirnica polja (Fieldbus)

## Aplikacija Fieldbus-a: proces tretmana voda

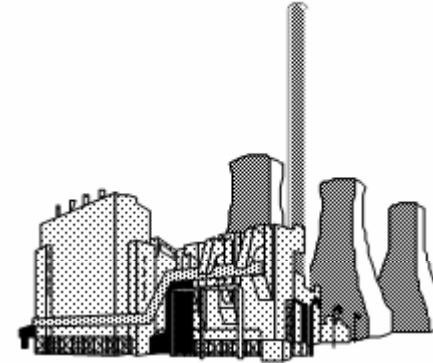


Brojni analogni ulazi (AI), mala brzina (37 kbit/s), segmenti spojeni 1 Mbit/s vezama.

## Sabirnica polja (Fieldbus)

### Aplikacija Fieldbus-a: energetski procesi – protok podataka

- Ograničavač ubrzanja i vučno vozilo: 1 kbit u 5 ms
- Kontrola izgaranja: 2 kbit u 10 ms  
po svakom 30 m segmentu postrojenja: 200 kbit/s
- Brzi regulatori zahtijevaju najmanje 16 Mbit/s preko područja duljine 2 m.
- Podaci se prenose od periferije ili od brzih računara do viših razina, dok sporije linije (veze) prenose podatke do razine upravljanja kroz sabirnice polja na udaljenostima 1-2 km.
- Upravljačke stanice prikupljaju podatke brzinama oko 200 kbit/s na rastojanju od 30 m.
- Računari upravljačke sobe su povezani na sabirnicu koja radi najmanje na 10 Mbit/s, preko područja duljine od nekoliko 100 m.
- Planiranje sabirnica polja zahtijeva estimaciju gustoće podataka po jedinici duljine (ili površine) i zahtjeve na vrijeme odziva i propusnost preko svake linije.

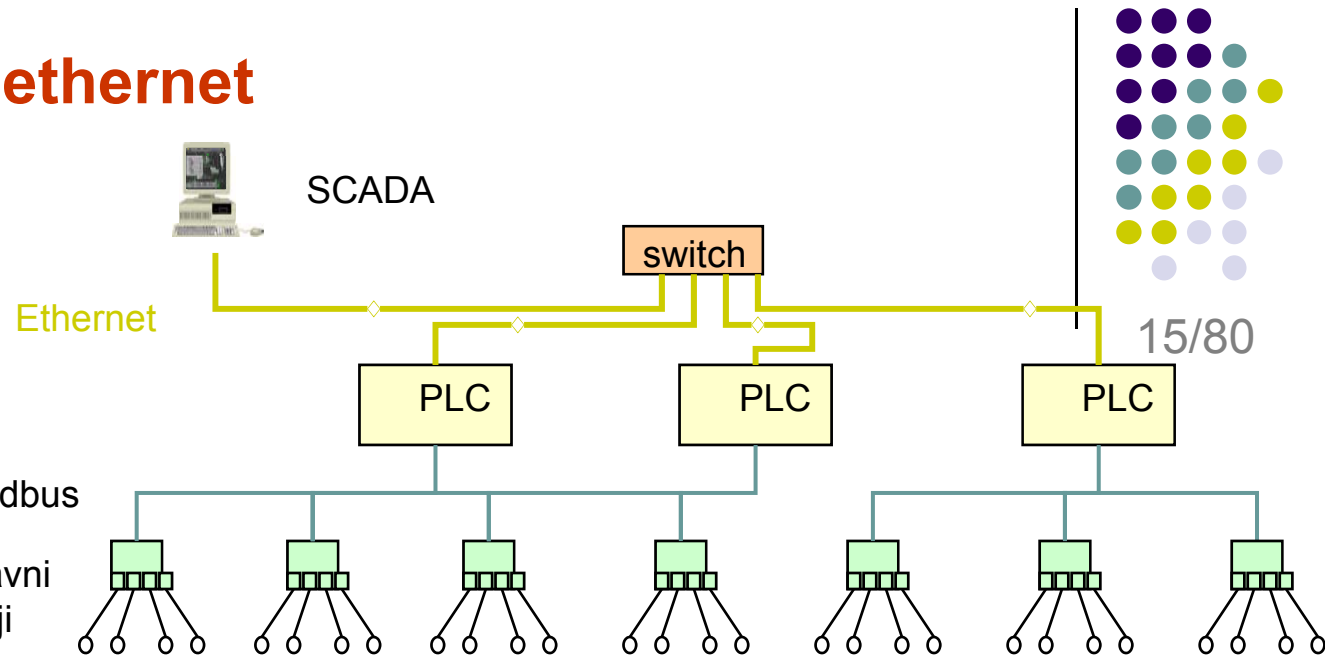


## 9.2. Industrijski ethernet

### Ethernet + Fieldbus (klasično)

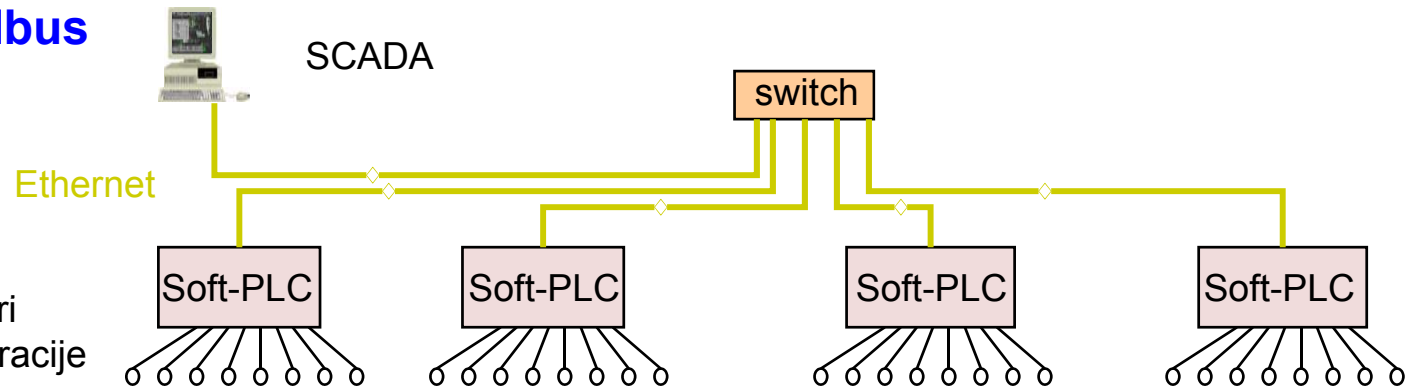
jeftini uređaji polja  
decentralizirane U/I  
cikličke operacije

jednostavni  
uređaji



### Ethernet kao Fieldbus (trend)

skupi uređaji polja  
Soft-PLC kao koncentratori  
događajno upravljane operacije



Ovo je različita tehnologija ožičenja.

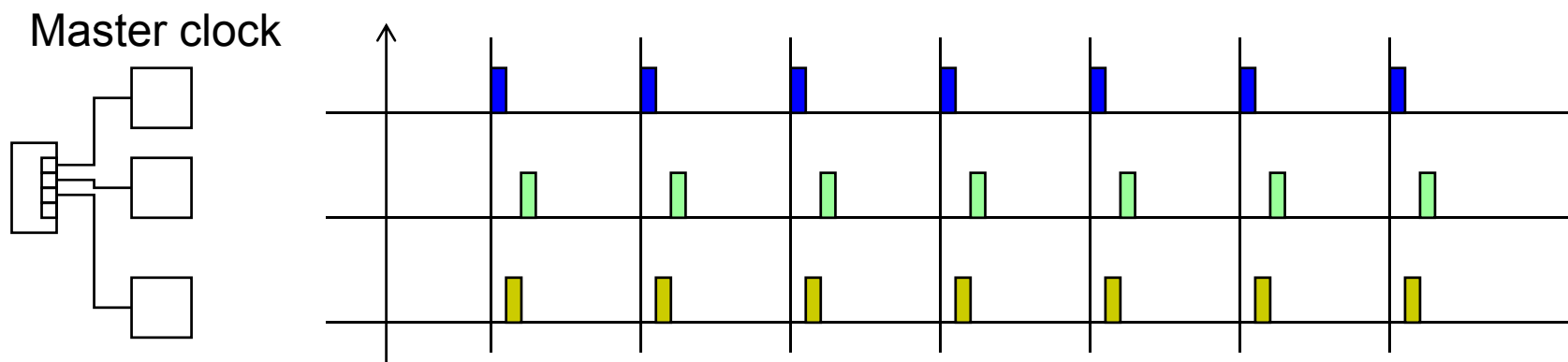
Sabirnica se mora prilagoditi strukturi sistema upravljanja, ne obratno.

# Industrijski ethernet

## RT Ethernet

Nedeterminizam Etherneta čini ga manje prikladnim za real-time aplikacije. Nekoliko poboljšanja se može načiniti u tom smjeru, ali niti jedna od njih ne predstavlja standardno rješenje.

Metod 1: **Sinhronizacija zajedničkog sata.**



Metod 2: **IEEE 1588 (Agilent)**

PTP (precision time protocol) – omogućuje sinhronizaciju uređaja na mreži sa  $\mu\text{s}$ -kom preciznošću.

Metod 3: Powerlink

B&R, Kuka, Lenze, Technikum Winterthur

[www.hirschmann.de](http://www.hirschmann.de), [www.br-automation.com](http://www.br-automation.com), [www.lenze.de](http://www.lenze.de), [www.kuka.de](http://www.kuka.de)

Metod 4: Siemens Profinet V3

sinhronizacija je kao kod preklopnika (switches).





# Industrijski ethernet

## Uloga Etherneta i Fieldbus-ova

- ❑ Ethernet se koristi za komunikaciju između PLC-ova i za komunikaciju PLC-ova sa razinom nadziranja i sa inženjerskim alatima.
- ❑ Fieldbus je odgovoran za konekciju sa decentraliziranim U/I i za vremenski kritičnu komunikaciju između PLC-ova.



## 9.3. MODBUS

### Uvod

- ❑ MODBUS protokol razvijen od strane Modicon-a 1979.god.
- ❑ Osnovni cilj je bio formiranje master-slave/klijent-server komunikacije inteligentnih uređaja.
- ❑ Modbus predstavlja standard i najčešće korišteni protokol u industrijskom okruženju.
- ❑ Modicon programibilni kontroleri mogu komunicirati između sebe i sa ostalim uređajima iz širokog spektra komunikacijskih mreža.
- ❑ Oni podržavaju Modbus i Modbus+ industrijske mreže, kao i standardne mreže tipa Ethernet i MAP.
- ❑ Mrežama se pristupa preko ugrađenih portova u kontrolerima, mrežnih adaptera, optičkih modula i Gateway-a proizvedenih od strane Medicon-a.
- ❑ Zajednički “jezik” koji koriste svi Modicon kontroleri je Modbus protokol.
- ❑ **Protokoli definiraju strukturu poruke, tip mreže preko koje se komunicira i procese koje kontroler koristi da bi pristupio drugim uređajima.**
- ❑ Tokom komunikacije na **Modbus mreži**, protokol određuje kako kontroler zna adresu svoga uređaja, prepoznaje adresu poruke, određuje vrstu akcije koju treba poduzeti i izvlači informacije sadržane u poruci.
- ❑ Kada se koristi na **drugim mrežama** Modbus protokol je “ugrađen” u okvir ili paket strukture koja se koristi na mreži.



# MODBUS

## Komunikacija između Modbus uređaja

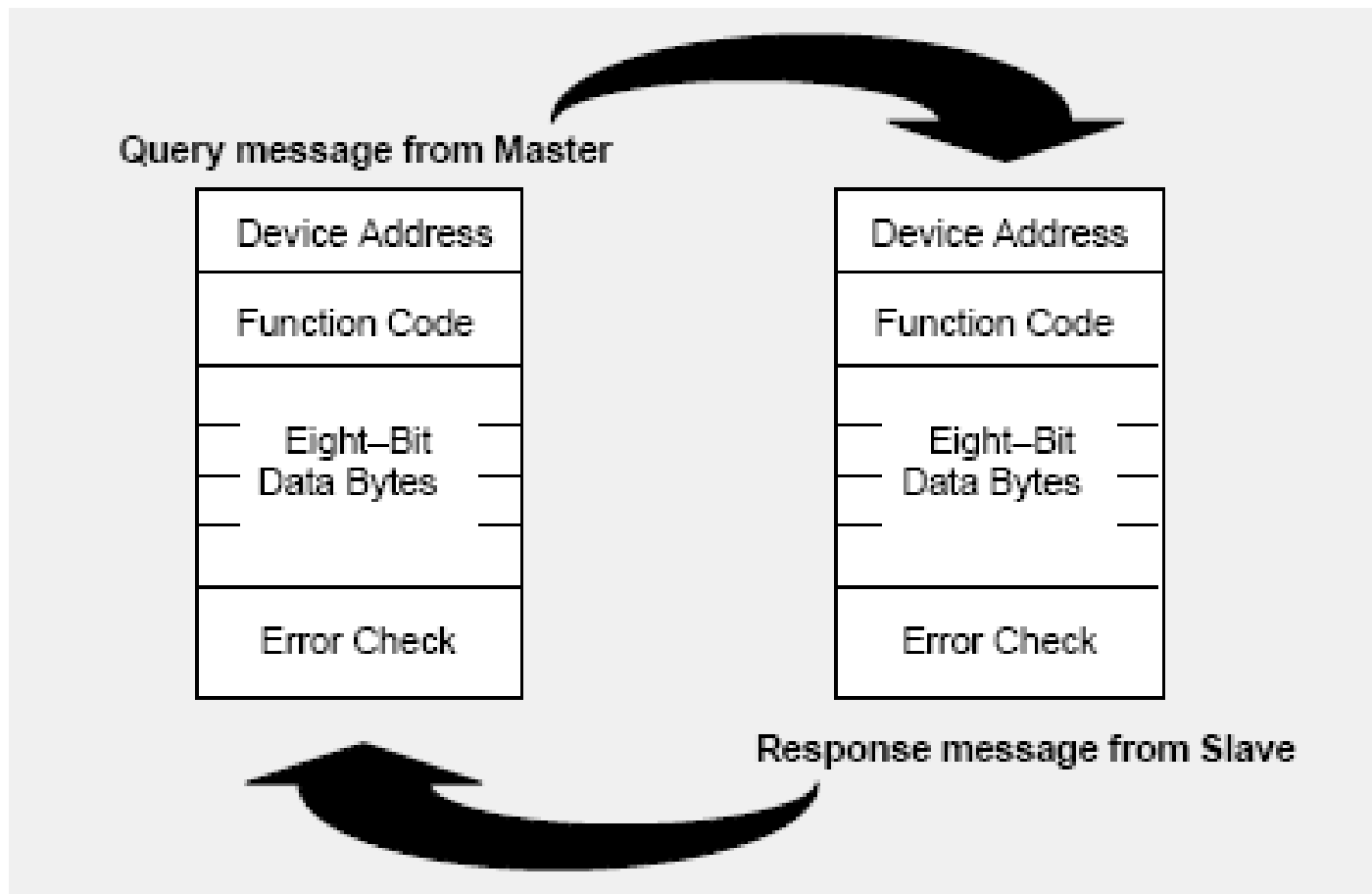
- ❑ Modbus uređaji i kontroleri koriste RS 232 kompatibilno serijsko sučelje.
- ❑ Kontroleri mogu biti povezani na mrežu direktno ili preko modema.
- ❑ **MODBUS uređaji komuniciraju na bazi master – slave komunikacije u kojoj samo jedan uređaj (master) može inicirati prijenos podataka (queries).**
- ❑ Ostali uređaji (slaves) odgovaraju na zahtjeve master-a podržavajući zahtijevane podatke ili preduzimajući određene akcije.
- ❑ Slave je obično bilo koji periferni uređaj (I/O transdjuser, mjerni uređaj itd.) koji obrađuje informacije i šalje ih kroz svoj izlaz masteru koristeći MODBUS.
- ❑ Masteri mogu adresirati pojedinačne slave-ove ili mogu inicirati odaslanu poruku svim slave-ovima.
- ❑ **Na drugim mrežama Modicon kontroleri komuniciraju na “peer-to-peer” način, u kojem bilo koji kontroler može inicirati prijenos sa bilo kojim drugim kontrolerom.**
- ❑ Tako kontroler može raditi kao master ili kao slave, ali u odvojenim prijenosima.



# MODBUS

## Komunikacija između Modbus uređaja

- ❑ Na razini poruka Modbus protokol radi na “master-slave” principu iako je komunikacija na mreži “peer-to-peer”.



# MODBUS

## Načini prijenosa podataka - ASCII

- Na standardnoj Modbus mreži kontroleri komuniciraju korištenjem jednog od dva serijska načina: ASCII ili RTU.
- Način prijenosa je uvijek izabran sa ostalim parametrima serijske komunikacije (paritet, baud rate) kao dio konfiguracije uređaja.
- U ASCII (American Standard Code for Information Interchange) svaki bajt karaktera u poruci je poslan kao dva ASCII karaktera.
- Ovaj način dozvoljava vremenske intervale između dva karaktera za vrijeme prijenosa poruka bez generiranja grešaka.
- Struktura ASCII okvira poruke prikazana je na sljedećoj slici.
- Poruka počinje sa znakom : (ASCII 3A hex) i završava sa dva CRLF znaka (ASCII 0D i 0A hex)



Start	Adresa	Funkcija	Podaci	LRC provjera	Kraj
1 karakter :	2 karaktera	2 karaktera	n karaktera	2 karaktera	2 karaktera CRLF

# MODBUS

## Načini prijenosa podataka - RTU



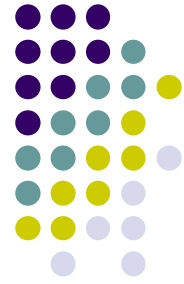
- Kod RTU načina poruke startaju sa intervalom od najmanje 3.5 vremenska karaktera.
- Ovo je mnogo jednostavnije realizirati kao višekratnik vremenskih karaktera na brzinama koje koristi mreža (T1-T2-T3-T4).
- Svaka osmобitna poruka, koja se prenosi, sastoji se od dva četverobitna heksadecimalna karaktera, a sama poruka se prenosi kontinuirano.
- Ako bi nova poruka startala prije negoli prođu najmanje 3.5 vremenska karaktera u zadnjem polju prethodne poruke, prijemnik bi to interpretirao kao nastavak ranije poruke.
- Struktura RTU okvira poruke prikazana je na sljedećoj slici.

Start	Adresa	Funkcija	Podaci	CRC provjera	Kraj
T1-T2-T3-T4	8 bita	8 bita	nx8 bita	8 bita	T1-T2-T3-T4

# MODBUS

## Opis okvira poruke

- ❑ Okvir poruke je iskorišten da označi početak i kraj poruke dozvoljavajući uređaju koji prima poruku da odredi koji je uređaj bio adresiran i da zna kada je poruka kompletirana.
- ❑ Okvir također omogućuje da parcijalne poruke budu detektirane i na taj način ustanove eventualne greške pri prijenosu parcijalnih dijelova poruke.
- ❑ Modbus poruka je smještena u okvir (message frame) od strane prijenosnog uređaja. Svaka riječ poruke (uključujući i okvir) je također smještena u okvir podataka (data frame) koji sadrži start bit, stop bit i bit pariteta.
- ❑ U ASCII načinu veličina riječi je 7 bita, dok je kod RTU veličina riječi 8 bita. Svakako, svakih 8 bita RTU poruke efektivno predstavlja 11 bita kada se dodaju start, stop i bit pariteta okvira podataka.
- ❑ Ne treba miješati okvir poruke sa okvirom podataka od jednog bajta (RTU mod) ili 7 bitni karakter (ASCII mod).
- ❑ Struktura okvira podataka ovisi o prijenosnom modu (RTU, ASCII).



# MODBUS

## Opis okvira poruke

- ❑ **Polje adresa.** Master uređaj adresira specifičan slave uređaj stavljajući 8 bitnu slave adresu u adresno polje poruke (RTU način). Validne adrese slave uređaja nalaze se na lokaciji od 1 do 247. Kada slave odgovara, on ostavlja svoju vlastitu adresu u ovo polje što omogućuje masteru da zna koji slave uređaj je odgovoran.
- ❑ **Polje funkcija.** Funkcijski kod polja okvira poruke sadrži dva karaktera (u ASCII modu), ili osam binarnih bita (u RTU modu) što govori slave-u kakvu vrstu funkcije treba da obavi. Ispravni funkcijski kodovi su smješteni u području 1-255, ali neće svi kodovi biti pridruženi modulu, neki od njih su rezervirani za buduće korištenje.
- ❑ **Polje podataka.** Polje podataka osigurava slave-u kompletiranje akcije specificirane funkcijskim kodom. Podatak se formira na temelju višestrukih bajta karaktera (par ASCII karaktera u ASCII modu) ili na temelju višestrukih dvojnih hexadecimalnih znamenki u dijapazonu od 00H-FFH. Polje podataka tipično uključuje adrese registara, vrijednosti brojača, zapisane podatke.

Ako se greška ne pojavljuje, polje podataka će, nakon odgovora od strane slave-a, vratiti zahtijevane podatke.

Ako se greška pojavljuje, polje podataka vraća izuzeti kod tako da master-ov aplikacijski softver može biti korišten da odredi sljedeću akciju.





# MODBUS

## Provjera greški

- ❑ MODBUS mreže koriste dva postupka provjere greške i provjere pariteta:
  - **Provjera pariteta okvira karaktera podataka** (paran, neparan ili nema pariteta)
  - **Provjera okvira unutar okvira poruke** (ciklično-redundantna provjera u RTU modu ili longitudinalno-redundantna provjera u ASCII modu).
- ❑ **Provjera pariteta.** Modbus uređaj može biti konfiguriran za parnu odnosno neparnu provjeru ili za slučaj kada nemamo provjeru pariteta.
- ❑ Na ovaj način se određuje kako je bit pariteta u okviru karaktera podataka postavljen. Ako je odabrana parna ili neparna provjera, broj od jednog bita u dijelu podataka svakog okvira karaktera je izbrojan.
- ❑ Svaki karakter u RTU modu sadrži 8 bita. Bit pariteta će biti tada postavljen na vrijednost 0 ili 1, rezultirajući u parnoj/neparnoj provjeri konačnim brojem jedinica (“1”) bita.



# MODBUS

## Provjera greški

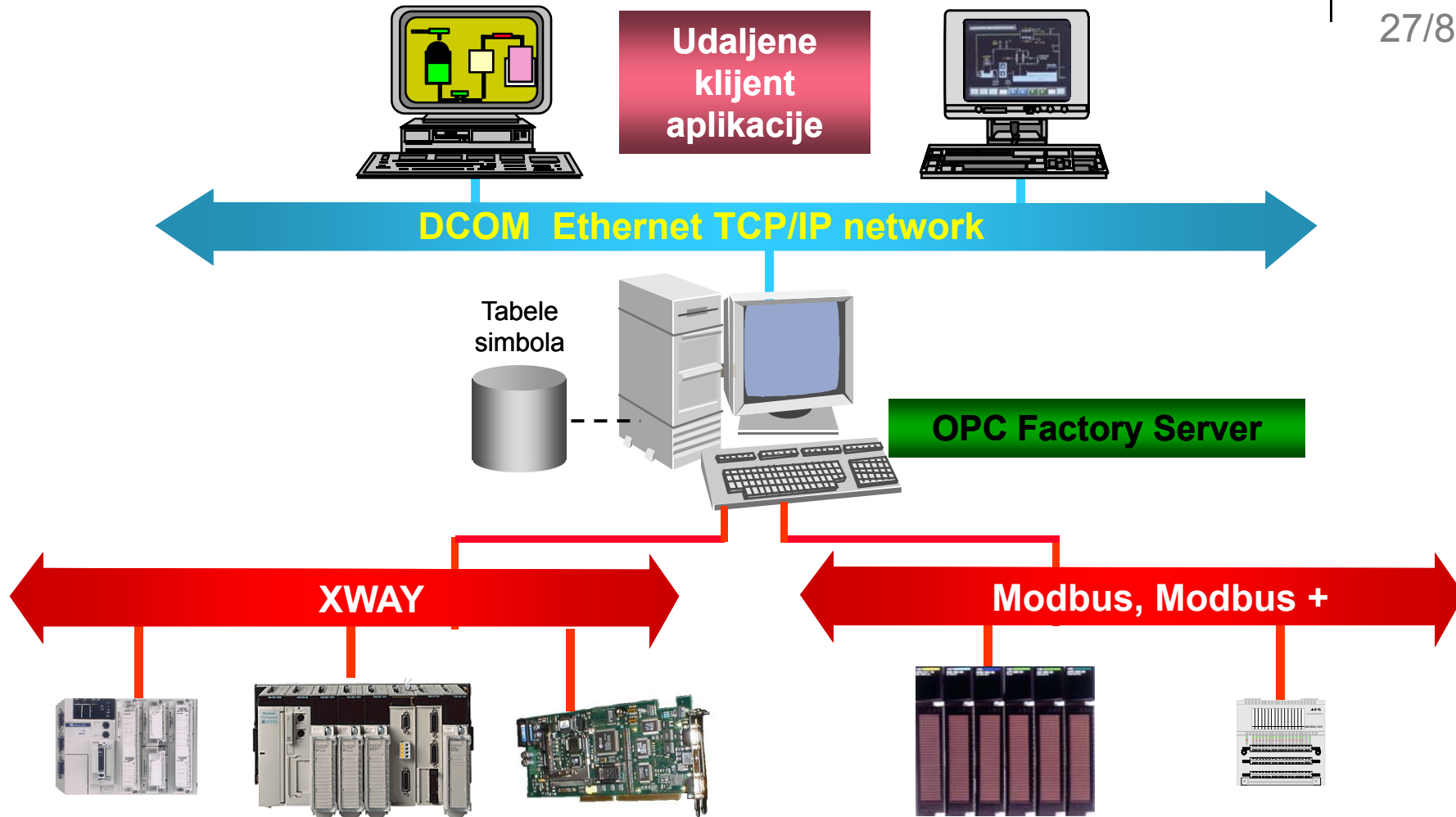
### **Provjera okvira.**

- LRC (Longitudinal Redundancy Check)** (samo ASCII mod).
- U ASCII prijenosnom modu okvir karaktera sadrži LRC polje kao zadnje polje koje prethodi CRLF karakterima.
- Ovo polje sadrži dva ASCII karaktera koja predstavljaju rezultat longitudinalno – redundantne kalkulacije za sva polja izuzev prve kolone karaktera i krajnjeg para CRLF karaktera.
- CRC provjera greške (samo RTU mod).**
- Kod RTU načina okviri poruke uključuju provjeru greške koja se temelji na ciklično-redundantnoj provjeri (Cyclical Redundancy Check-CRC).
- Polje provjeravanja greške okvira poruke sadrži 16-bitnu vrijednost (2 bajta) koja sadrži rezultat CRC kalkulacije prikazane u sadržaju poruke.



# MODBUS

## Primjer: Modbus u distribuiranoj arhitekturi



# MODBUS

## Modbus TCP/IP

- ❑ MODBUS/TCP je komunikacijski protokol dizajniran za podršku industrijske opreme (npr. PLC-ove), računare, operatorske panele, motore, senzore i druge tipove fizičkih U/I uređaja, te da komunicira preko mreže.
- ❑ MODBUS/TCP kreirala je kompanija Modicon/Group Schneider i danas predstavlja jedan od najpopularnijih protokola ugrađenih u TCP/IP okvire Etherneteta. MODBUS /TCP ugrađuje MODBUS okvir u TCP okvir na jednostavan način. Ovo je spojno-orijentirani prijenos, što znači da svaki zahtjev očekuje odgovor.
- ❑ Ova tehnika (zahtjev – odgovor) se dobro slaže sa master/slave prirodom MODBUS-a, dodajući **determinizam** što Ethernet nudi industrijskim korisnicima. Upotreba MODBUS-a sa TCP okvirima podržava totalno skalirajuće rješenje od 10 čvorova do 10000 čvorova bez rizika kompromisa kojeg bi druge multicast tehnike dale.
- ❑ MODBUS TCP/IP je postao industrijski standard zbog otvorenosti, jednostavnosti, niske cijene razvoja, minimuma hardvera neophodnog za podršku.
- ❑ U ovom trenutku postoji u prodaji više od 200 MODBUS TCP/IP-a.
- ❑ MODBUS TCP/IP koristi TCP/IP i Ethernet za prijenos MODBUS strukture poruka.



# MODBUS

## Prednosti i mane Modbus mreže

- Prostorna skaliranost.
- Jednostavnost pri administraciji i proširenju.
- Kompatibilnost sa TCP/IP-om.
- Relativno mala brzina prenosa podataka (reda Kbit/s), ali je osiguran vremenski odziv reda milisekunde.
- Mreža se može koristiti za komunikaciju sa velikom instaliranom bazom MODBUS uređaja.



## 9.4. PROFIBUS

- Razvijen 80-tih godina.
- PROFIBUS je standardiziran, otvoren digitalni komunikacijski sistem za sva područja primjene u proizvodnoj i procesnoj industriji.**
- Protokol je temeljen na internacionalnim standardima EN 50170 i IEC 61158.
- Više nego ikad sistemi su u mogućnosti da podrže komunikaciju od senzora i aktuatora pa do razine menadžmenta.
- PROFIBUS je pogodan za brze (do 12Mbit/s), vremenski zahtjevne aplikacije i složene komunikacijske zadatke.
- Glavni zadatak u polju automatizacije je locirati razinu polja.
- Na toj razini centralni programabilni kontroleri (PLC , PC) ili sistemi za kontrolu procesa komuniciraju sa distribuiranim uređajima polja preko brze serijske veze.
- Razmjena podataka sa distribuiranim uređajima je ciklička, dok se dodatne informacije kao što su alarmna stanja ili dijagnostički podaci prenose neciklički (na zahtjev).
- PROFIBUS rješenje za razinu polja sastoji se od H1 (PROFIBUS PA) i H2 (PROFIBUS DP) razina.



# PROFIBUS

## Karakteristike

- ❑ **Procesna i/ili S/A mreža sa niskim i srednjim performansama, prema standardu DIN 19245.**
- ❑ **Prijenosni medij:**
  - Oklopljene, upletene parice,
  - Stakleni ili plastični optički kabeli,
- ❑ **Pristup mediju**
  - Prosljeđivanje zaloga (Token Passing) – brzine: 93.75 kbit /s (1200 m), 1.5 Mbit /s (200 m), 12 Mbit /s (100 m).
  - Master/Slave.
- ❑ **Brzina prijenosa od 9.6 do 12 Mbit/s**
- ❑ **Duljina**
  - Preko 9 km sa upletenim paricama,
  - Preko 23 km sa staklenim optičkim kabelom.
- ❑ **Najveći broj čvorova u mreži: 127.**
- ❑ **Integracija sa Ethernetom preko Profineta.**



# PROFIBUS

## PROFIBUS DP i PA



32/80

### ❑ PROFIBUS DP (Distributed Processing)

- Namijenjen za komunikaciju PLC-ova i distribuiranih U/I uređaja.
- U pravilu jedan Master poziva U/I uređaje u skladu sa listom poziva (Polling List).
- Koristi samo fizički, podatkovni i aplikacijski sloj (korisničko sučelje) OSI modela.

### ❑ PROFIBUS PA (Process Automation)

- Namijenjen povezivanju senzora i aktuatora u opasnim područjima (npr. hemijska industrija).
- Povezuje sisteme automatizacije i sisteme za upravljanje procesima sa uređajima polja, kao što su: transmiteri pritiska, temperature i razine.
- Omogućuje prijenos podataka i energije preko dvožične sabirnice.
- PROFIBUS PA može biti korišten kao zamjena za analognu tehniku (4-20 mA) ⇒ ušteda ožičenja, kao i manji broj U/I modula u sistemu za upravljanje procesom.
- Tipično se zahtijeva odvojeno snabdjevanje energijom za svaki uređaj u eksplozivnim zonama. U slučaju korištenja PROFIBUS PA potrebne su samo dvije linije za prijenos podataka i energije za uređaje polja.

### ❑ PROFIBUS FMS (Field Messaging Specification)

- Peer-to-peer komunikacija po načelu prosljeđivanja žetona.

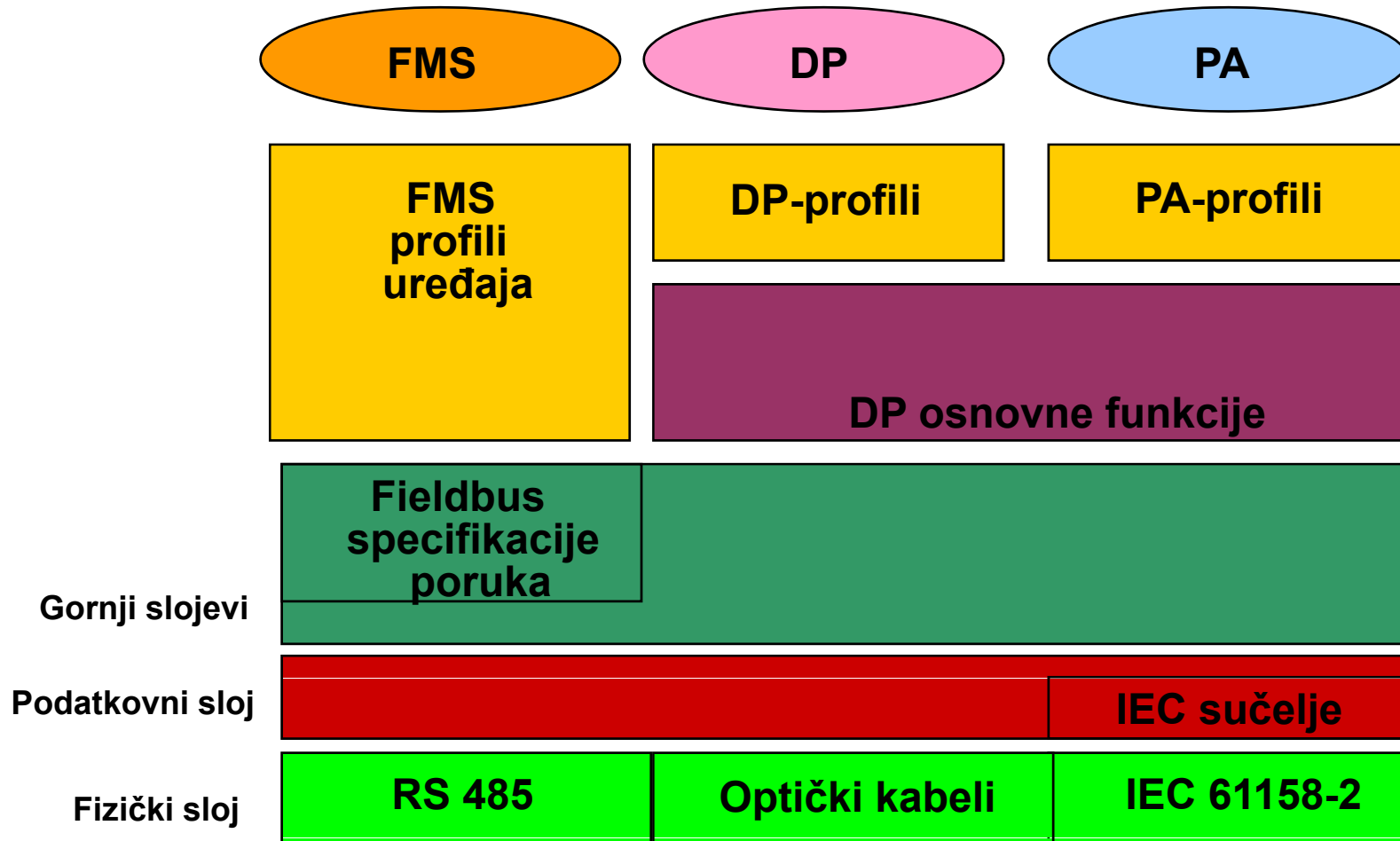


# PROFIBUS

## Slojnost PROFIBUS-a



33/80



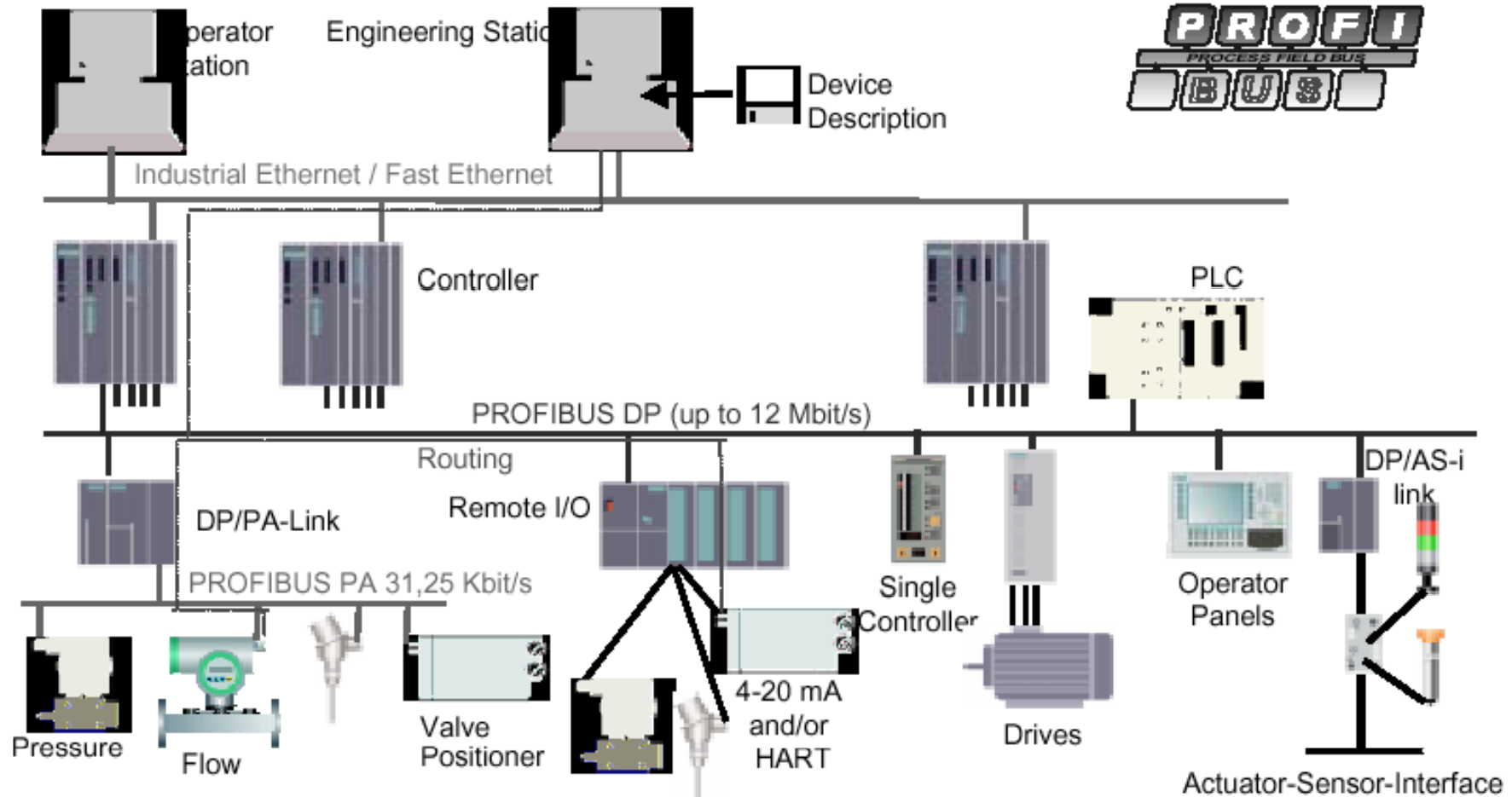


# PROFIBUS

## Primjer korištenja PROFIBUS DP i PA

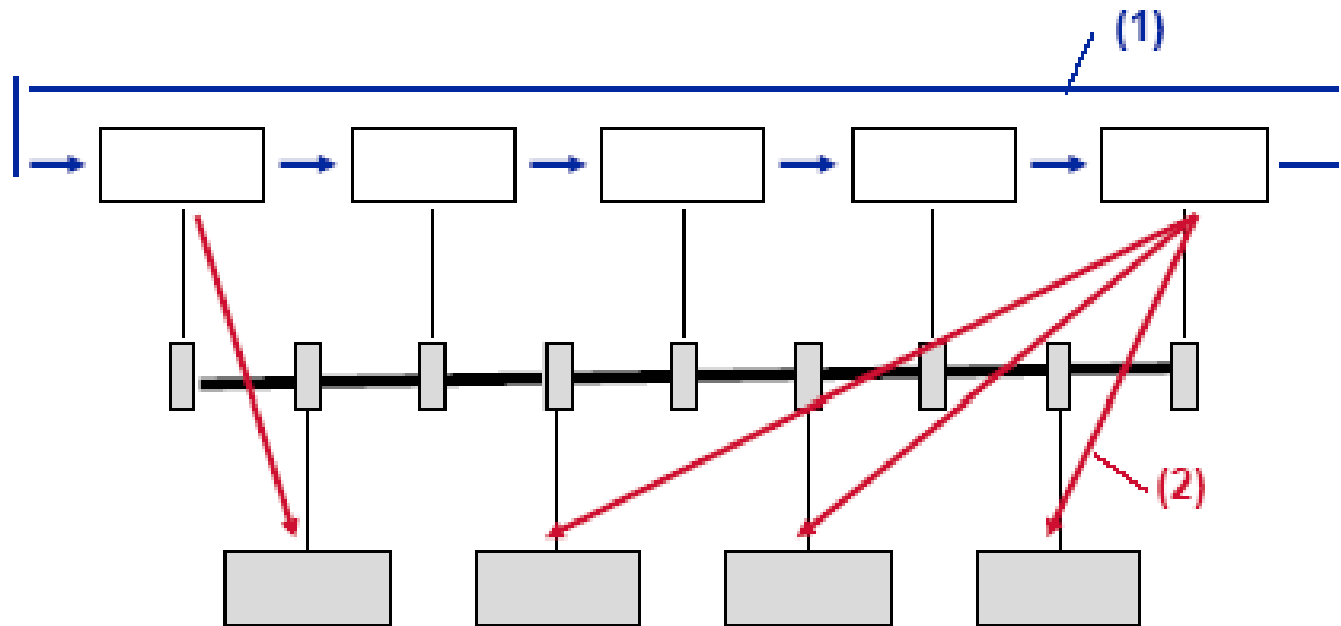
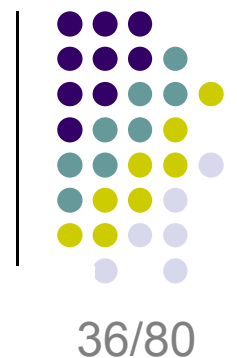


35/80



# PROFIBUS

## Pristup mediju PROFIBUS FMS



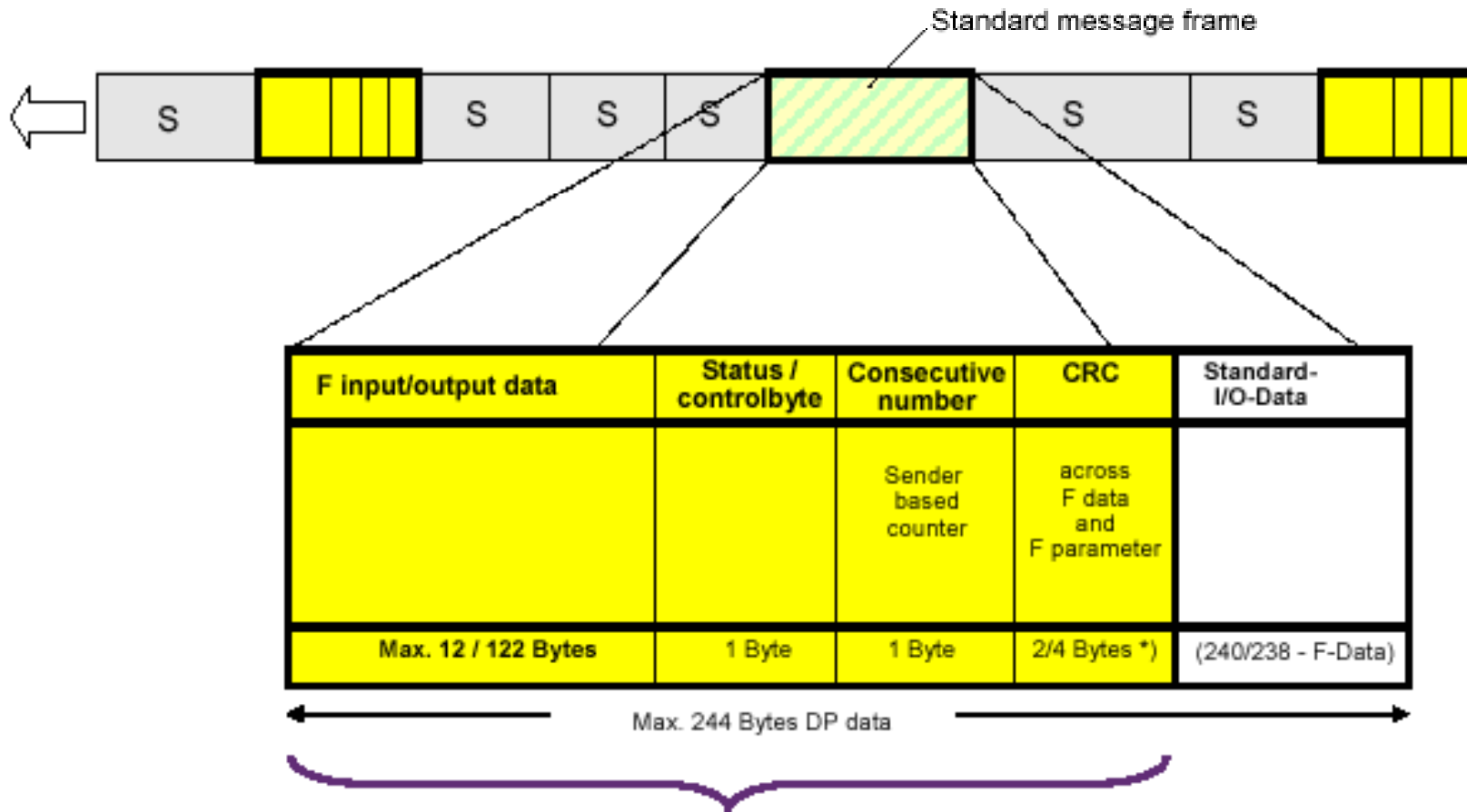
Prosljeđivanje zaloga između aktivnih čvorova/stanica (1).  
Master/slave između aktivnih i pasivnih čvorova (2).

# PROFIBUS

## Struktura poruke PROFIsafe



37/80



PROFIsafe frame

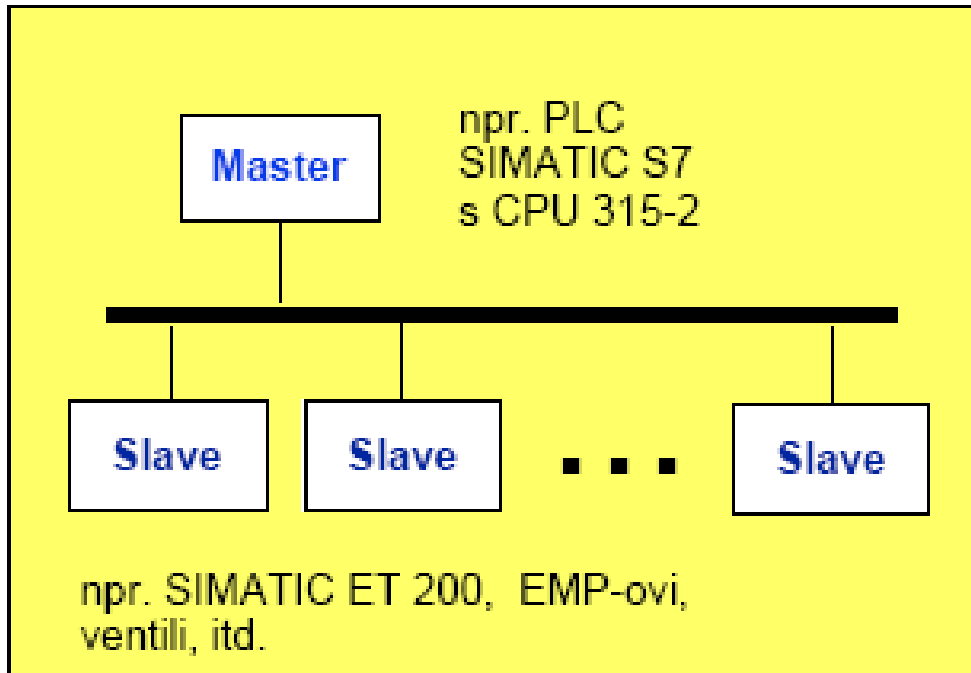
\*) 2 Byte for a max. of 12 Byte F I/O data  
4 Byte for a max. of 122 Byte F I/O data

# PROFIBUS

## Komunikacija sa PROFIBUS DP i PA



38/80



- Povezivanje U/I uređaja (S i A) na aktivni čvor (npr. PLC).
- Brz prijenos malih količina podataka:
  - ✓ Ciklička Master/Slave komunikacija
  - ✓ Rad sa 1 Master čvorom.
- Izmjena podataka:
  - Master-senzori: prijenos sa čitanjem
  - Master-aktuatori: prijenos sa pisanjem

## 9.5. CAN (Control Area Network)

### Šta je CAN?

- ❑ **Serijska sabirnica za efikasnu podršku distribuiranim računarskim sistemima u stvarnom vremenu.**
- ❑ Primjenjuje difuzijski prijenos poruka – poruka ima **identifikator** umjesto adrese.
- ❑ Koristi CSMA/CA protokol pristupa mediju.
- ❑ Istovremeni zahtjevi za prijenosom okvira rješavaju sa nedestruktivnom arbitražom bitova identifikatora, tako da prenosi poruku sa najvišim prioritetom.
- ❑ Bitovi na sabirnici su recesivni ili dominantni.
- ❑ Čvor koji prenosi dominantni bit dobiva pristup sabirnici ⇒ “binarno odbrojavanje”
- ❑ **Razvijen u firmi Bosch GmbH, Njemačka, 1986. godine za primjenu u automobilima, a koristi se i u:**
  - industrijskoj automatizaciji
  - ugrađenim računarskim sistemima
- ❑ **CAN je standardiziran kod:**
  - International Standardization Organization (ISO 11899),
  - Society of Automotive Engineers (SAE J1939),
  - CAN 2.0A i CAN 2.0B.



# CAN

## Kako radi CAN?

- ❑ **Prijenos u osnovnom opsegu.** Za razliku od širokopojasne tehnike prijenosa, koja kodira informacije prije prijenosa, ova tehnika prenosi informacije u originalnom formatu. Ona je jednostavna i relativno jeftina. Loša strana je ta da se ne može prenijeti veliku količinu podataka velikom brzinom. Zbog toga ova tehnika je podesna samo za prijenos na niskoj razini. Zbog niskih troškova CAN koristi ovu tehniku.
- ❑ **Prijenos medij – upredene parice.** CAN koristi upredene parice, nazvane CAN-High i CAN-Low, za prijenos signala. One se koriste kako bi se isfiltrirala smetnja koja može simultano djelovati na sabirnicu. To je pouzdana i dokazana tehnika za prijenose na malim udaljenostima. Međutim, ona nije dobra za prijenos na velike duljine zbog visokih gubitaka.
- ❑ **CSMA/CA pristup mediju.** CAN čvor uvijek osjeća nosioca u mrežnoj sabirnici i prenosi samo kada je sabirnica u “besposlenom” stanju (idle). Na ovaj način omogućeno je većem broju čvorova da se povežu i komuniciraju na sabirnici. U nekim slučajevima, dva ili više čvora mogu prenositi potpuno istovremeno. U ovom slučaju, čvorovi su sposobni da detektiraju sukob i odluče koji je sljedeći korak. Tehnika DBA (Destructive Bit Arbitration) koja se koristi u CAN-u omogućuje čvorovima sa najnižim identifikatorom da nastave prijenos bez smetnji, a ostali će se povući nazad i oslušivati trenutak kada je moguć prijenos.



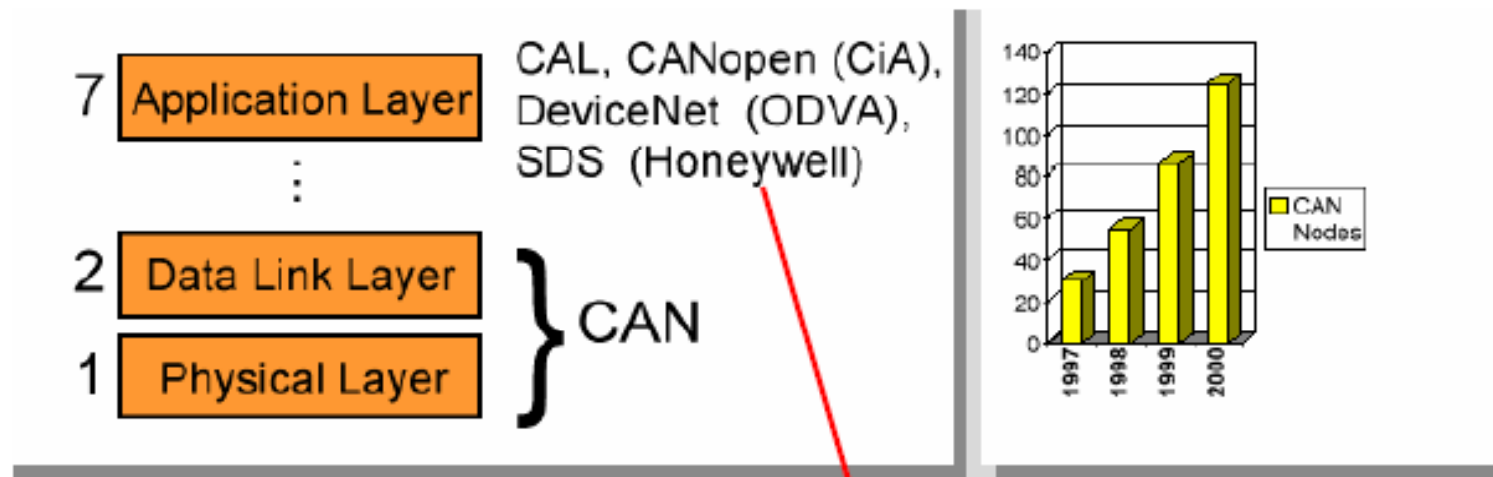
40/80



# CAN

## CAN i OSI referentni model

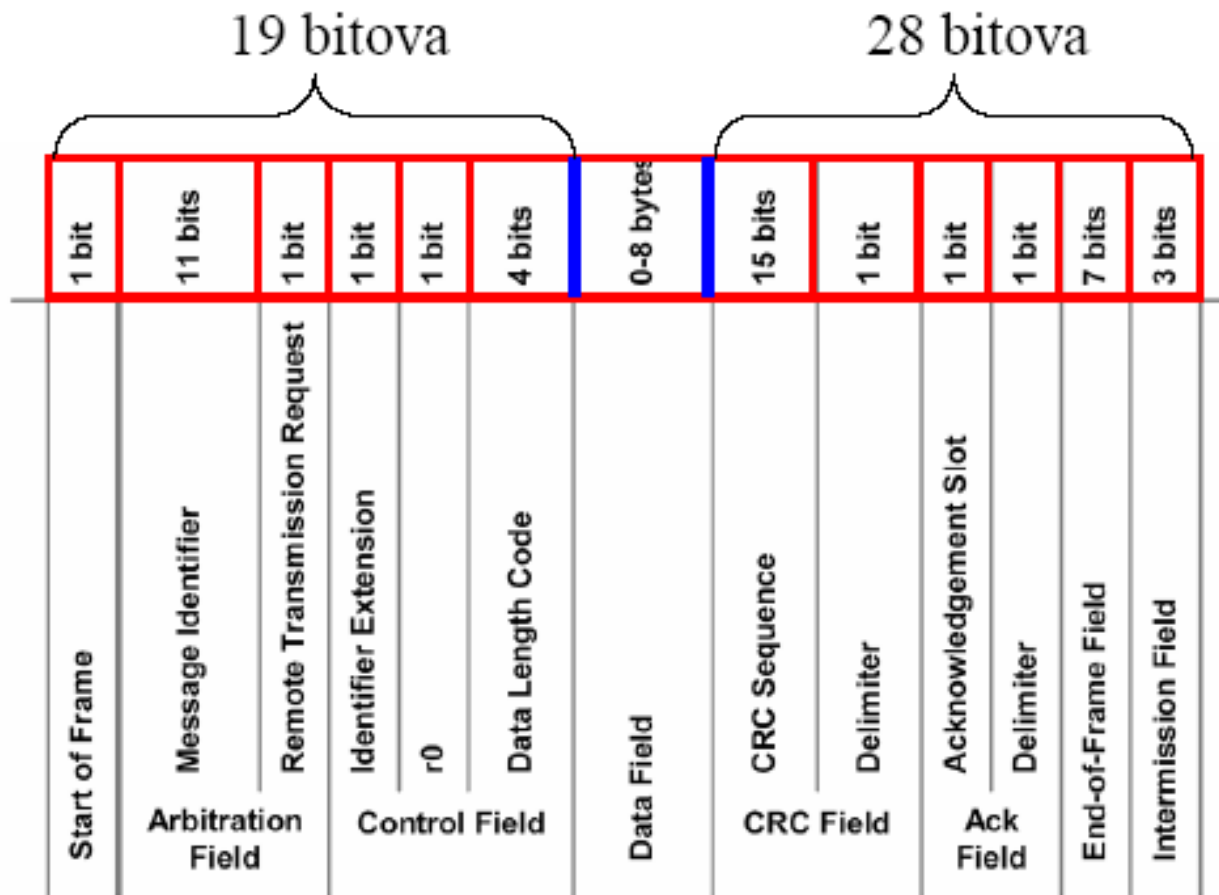
**CAN** protokoli spadaju unutar fizičkog i podatkovnog sloja OSI modela. Mrežni sloj je sadržan u podatkovnom sloju da bi se smanjila složenost.



**Viši protokoli zasnovani na CAN-u**

# CAN

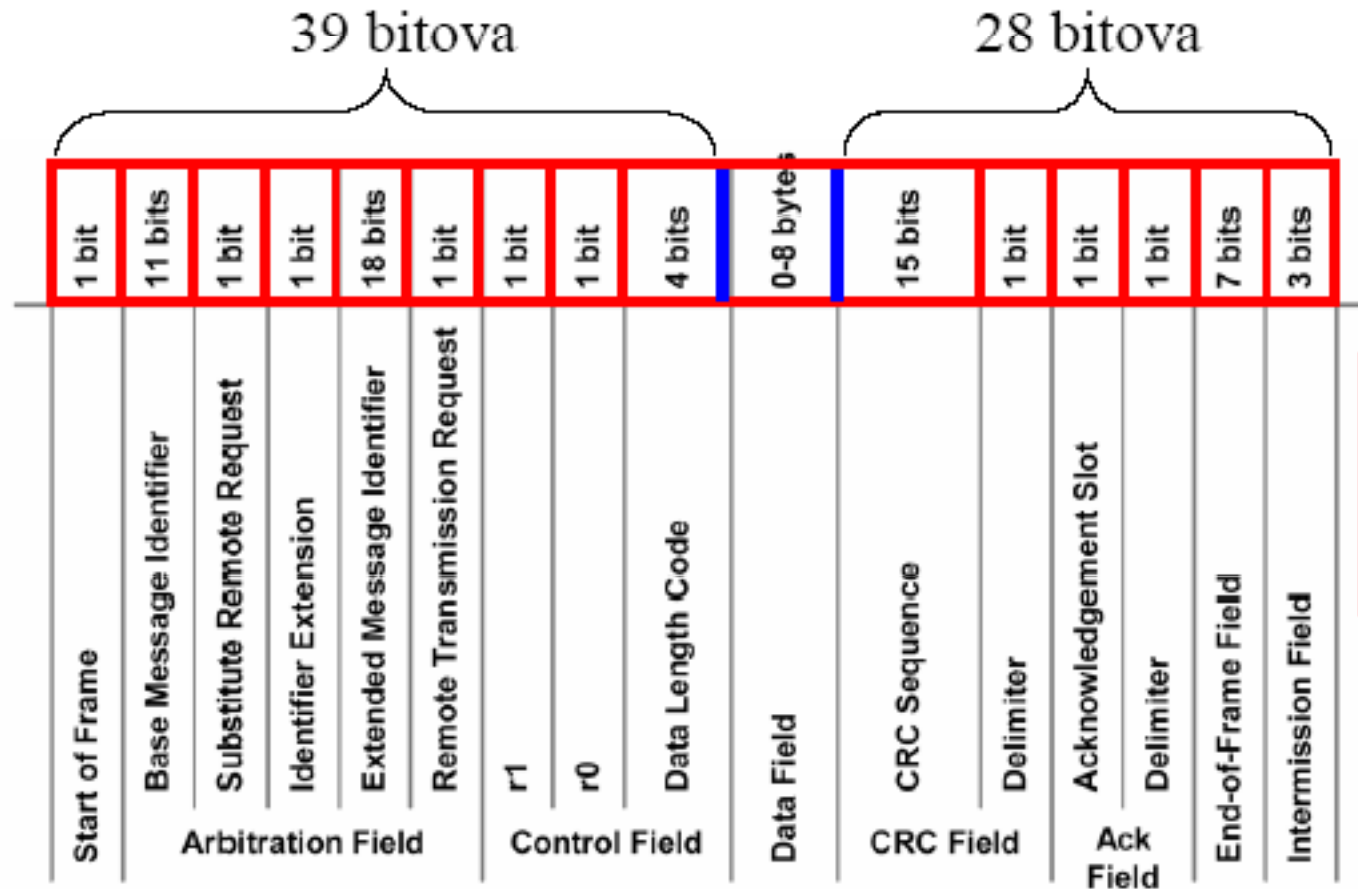
## CAN 2.0 A – format okvira



$r = 47$  bitova  
 $m = 0-64$  bita  
 $n = 47-111$  bitova  
 $CEF_{max} = 64/111 = 0,58$

# CAN

## CAN 2.0 B – format okvira

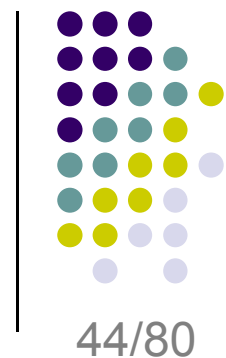


$r = 67$  bitova  
 $m = 0-64$  bita  
 $n = 67-131$  bit  
 $CEF_{max} = 64/131 = 0,49$

# CAN

## CAN 2.0 B – format okvira

- ❑ 2.0B kontroleri su unatrag kompatibilni sa 2.0A kontrolerima i mogu prenositi i primati poruke u bilo kojem od ova dva formata.
  
- ❑ Što se tiče 2.0A kontrolera postoje dva tipa:
  - Prvi može prenositi i primati samo poruke 2.0A formata.
  - Drugi, naziva se 2.0B pasivni kontroler, može:
    - slati i primati 2.0A poruke, te
    - potvrđavati prijem 2.0A poruka,
    - dok same 2.0B poruke odbacuje (ignorira).



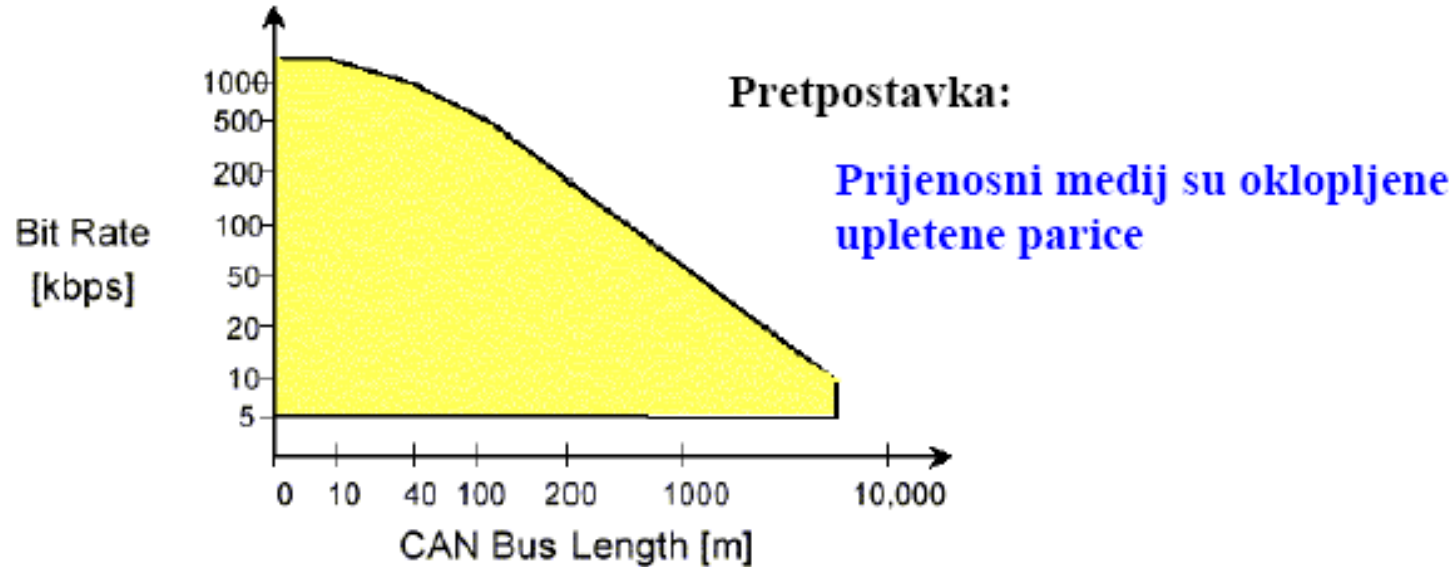
	Frame with 11 bit ID	Frame with 29 bit ID
V2.0B Active CAN Module	Tx/Rx OK	Tx/Rx OK
V2.0B Passive CAN Module	Tx/Rx OK	Tolerated
V2.0A CAN Module	Tx/Rx OK	<u>Bus ERROR</u>

# CAN

## Duljina sabirnice naspram brzine prijenosa



45/80



Uzrok ograničenja:

- Kao i kod Etherneta potrebna duljina poruke najmanje  $2\tau$ .

Duljina sabirnice (m)	Maksimalna brzina prijenosa (b/s)
40	1M
100	500k
200	250k
500	125k
6 km	10k

# CAN

## Primjene CAN-a

### ❑ Automobili

- Umrežavanje kontrolera za transmisiju, šasiju i kočenje.
- Umrežavanje komponenti elektronike šasije i elektronike koja vozilo čini podesnijim.
- Mobilna komunikacija koja povezuje komponente poput automobilskih radija, automobilske telefonije, navigacijske pomoći itd., na centralnu, korisniku podesivu upravljačku ploču.

### ❑ Industrija

- Poređenje zahtjeva za sabirnice sistema u vozilima i u industrijskom polju pokazuje iznenađujuće visoku sličnost.
- Primjena CAN-a u Mercedes Benz "S" klasi.
- CAN prihvaćen od US proizvođača vozila za brzu transmisiju (do 1Mbit/s)
- CAN je prihvaćen od strane proizvođača medicinske aparature, tekstilnih mašina i upravljanja liftovima.

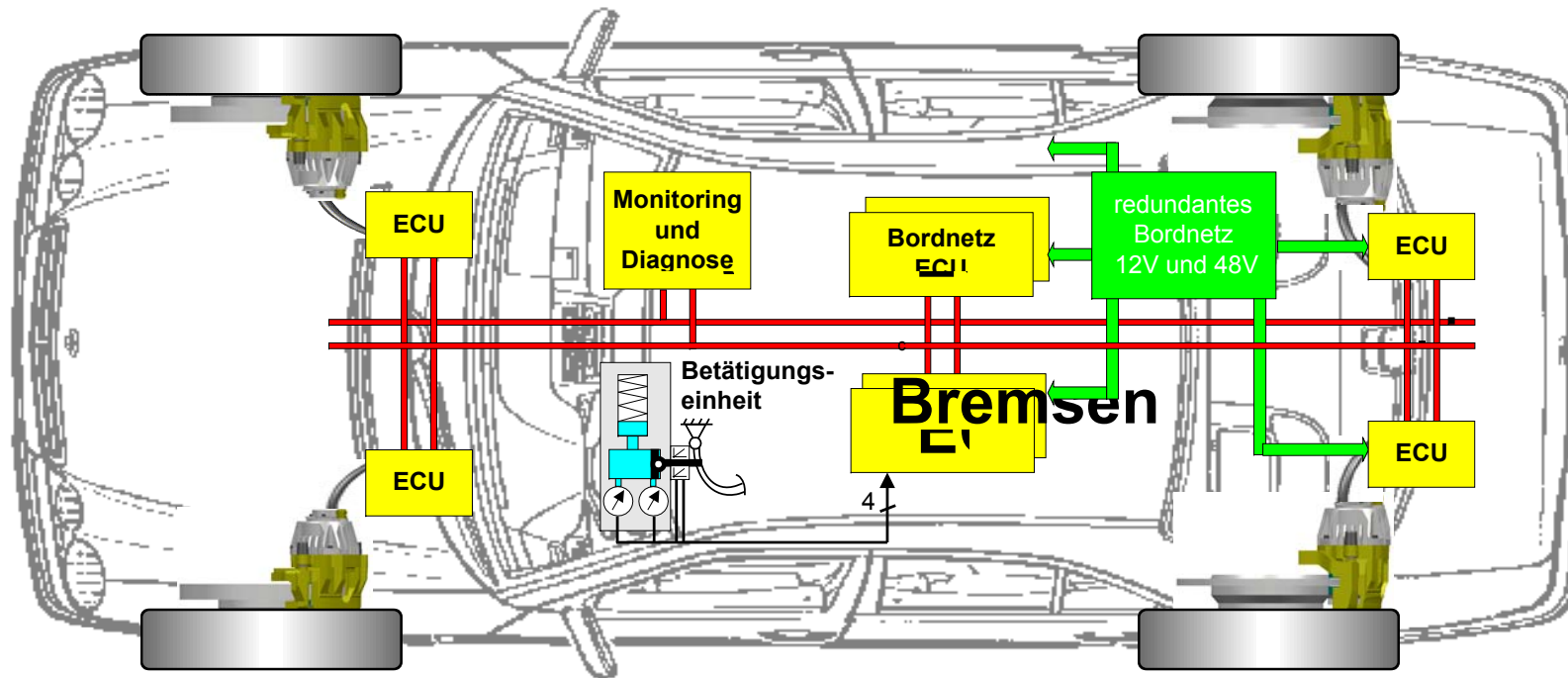


# CAN

## Primjene CAN-a



47/80



- 8 čvorova
- 4 elektromehaničke kočnice
- 2 redundantne upravljačke jedinice vozila
- pedal simulator
- na kvarove tolerantna 2-naponska izvora na ploči
- dijagnostički sistem

## CAN

### Problemi primjene CAN-a u RT sistemima

- ❑ Pristup mediju preko arbitraže bitova identifikatora uzrokuje kašnjenje u slanju poruke.
- ❑ Čvor ne može poslati poruku ako:
  - se za pristup mediju natječe neka druga poruka višeg prioriteta,
  - se sabirnicom već prenosi neka poruka (može biti i nižeg prioriteta) ⇒ čak i poruka najvišeg prioriteta može imati malo kašnjenje.
- ❑ Poruke nižeg prioriteta imat će veća kašnjenja.
- ❑ Teško izvesti sistem otporan na stanja kvara (redundantna sabirnica).
- ❑ **Rješenje:** Uvesti determinizam u komunikaciju – uspostaviti ciklički redoslijed slanja poruka:
  - važno za sisteme upravljanja u stvarnom vremenu i za
  - distribuirane računarske sisteme otporne na stanja kvara
  - TTCAN, TTP, FlexRay.

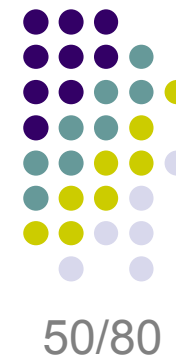


# CAN

## Prednosti i nedostaci CAN-a

- Problem dvostrukog prijema.
- Visoka razina detekcije greške.
- Maksimalno kašnjenje od 134 mikrosekunde za signale visokog prioriteta.
- Varijabilna brzina prijenosa podataka od 5Kbit/s do 1Mbit/s.
- CAN pruža visoku pouzdanost korisniku.
- Zahtijeva moćan aplikacijski sloj kako bi se postigle veće performanse. Zbog toga je izbor jednog moćnog aplikacionog sloja važan korak.
- DeviceNet zadovoljava sve ove zahtjeve





## 9.6. TTCAN

### TTCAN – Time Triggered CAN

#### □ Dvije razine proširenja CAN-a:

##### 1. Razina proširenja:

- TT komunikacija na CAN-u zagarantirana slanjem referentne poruke “time master-a”.
- Otpornost na stanja kvara osigurava se redundantnim “time master-ima”.
- Ne trebaju sklopovske izmjene CAN kontrolera.

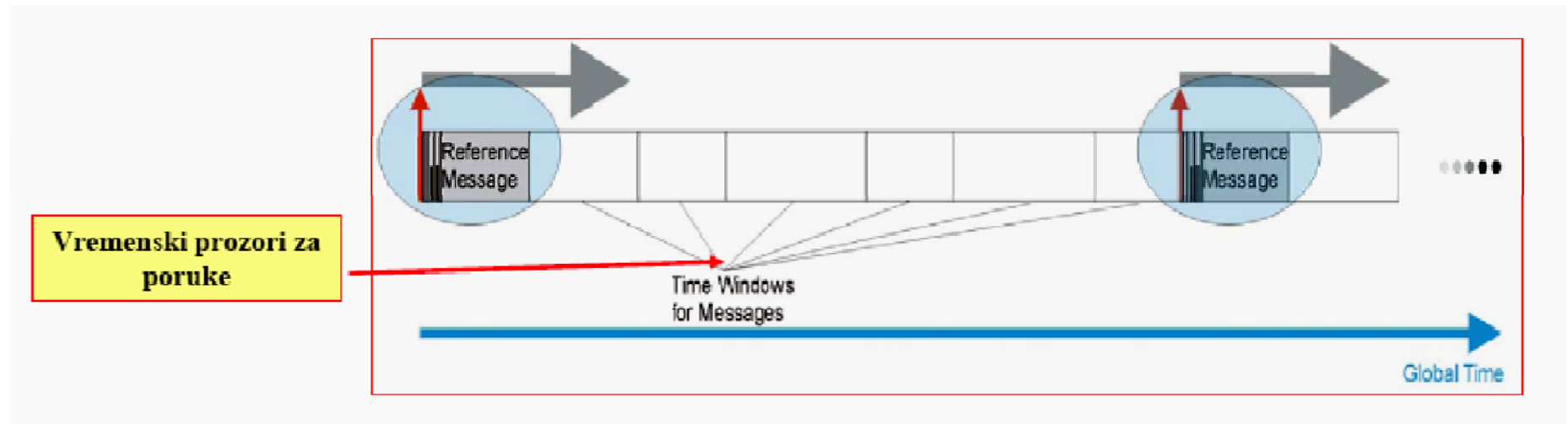
##### 2. Razina proširenja

- Uspostavlja se globalna sinhronizana vremenska baza u komunikacijskom sistemu.
- Provodi se kontinuirano korigiranje drifta između CAN kontrolera.
- Referentna poruka od 4 bajta.
- Trebaju novi TTCAN kontroleri.

# TTCAN

## Pregled mehanizama TTCAN-a

- ❑ Vremenska baza se osigurava unutarnjim ili vanjskim klokom.
- ❑ TT komunikacija se pokreće referentnom porukom “time mastera”.
- ❑ Period između dvije referentne poruke - **osnovni ciklus**:



- ❑ Tri tipa vremenskih prozora:
  - Isključivi vremenski prozor (Exclusive Time Window).
  - Arbitražni vremenski prozor (Arbitrating Time Window).
  - Slobodni vremenski prozor (Free Time Window).

# TTCAN

## Vremenski prozori

### ❑ Isključivi prozor

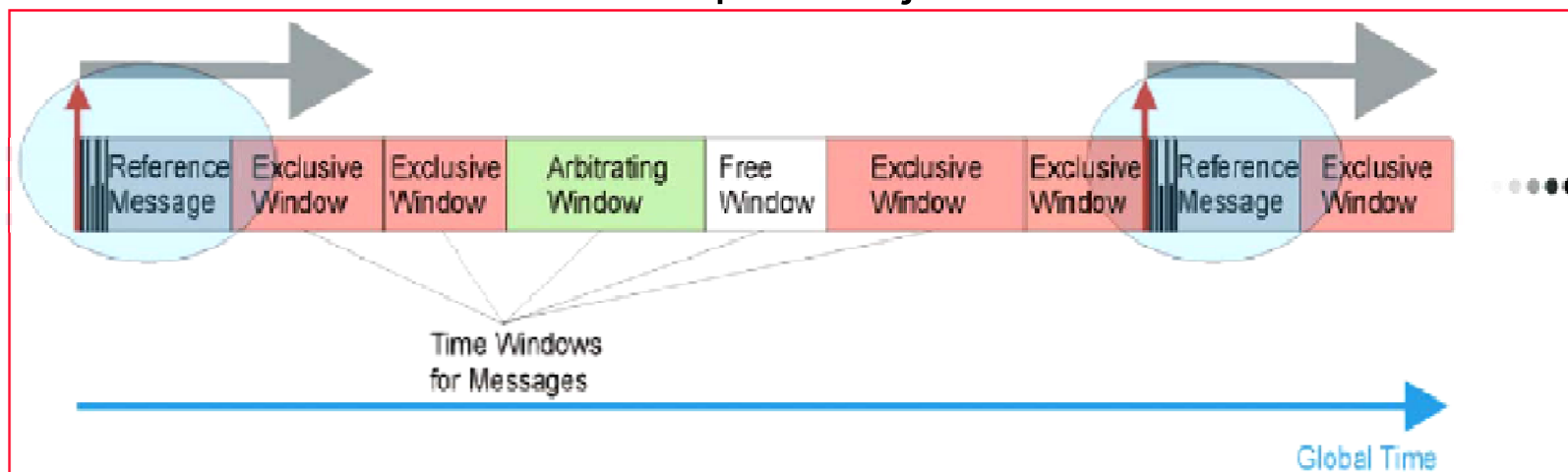
- Isključivo rezerviran za jednu poruku, bez natjecanja za pristup sabirnici.
- Onemogućeno automatsko ponavljanje slanja neispravno poslani poruke, čime se garantira da poruke u ovom prozoru ne kasne.

### ❑ Arbitražni prozor

- Poruke se natječu za pristup sabirnici mehanizmom bitovne arbitraže CAN-a.

### ❑ Slobodni prozor

- Rezerviran za naknadna proširenja mreže.



# TTCAN

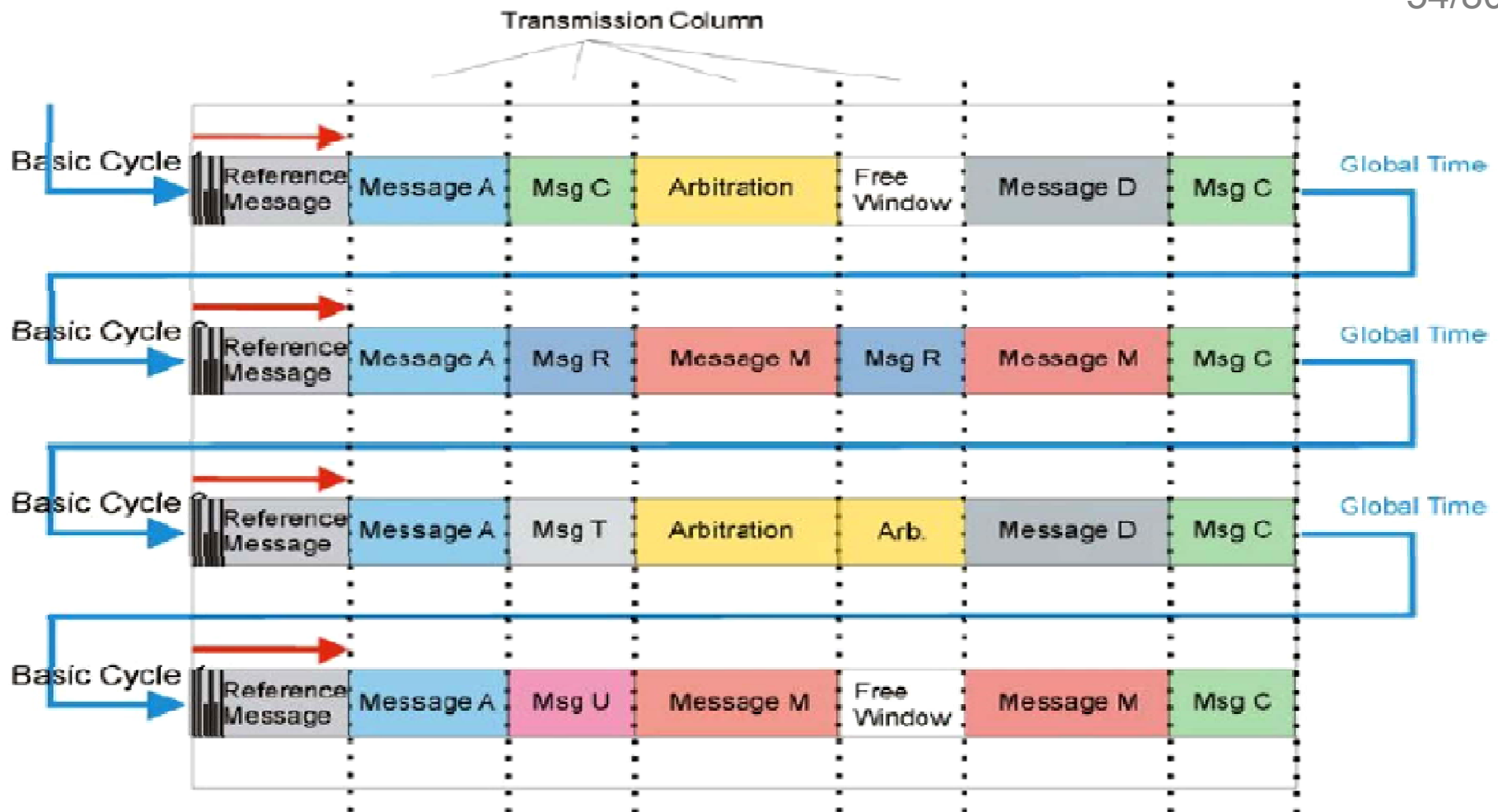
## Matrica sistema

- ❑ U praksi je više regulacijskih petlji zatvoreno preko iste komunikacijske mreže sa različitim vremenima uzorkovanja, a prenose se i druge poruke.
- ❑ Za sve poruke je potrebno definirati trenutke slanja.
- ❑ Osnovni ciklus TTCAN-a često ne pruža dovoljno fleksibilnosti za zadovoljavanje komunikacijskih zahtjeva:
  - Povezuje se više osnovnih ciklusa.
  - Redoslijed poruka definira tzv. **matrica sistema** (komunikacijska matrica), čija je ilustracija prikazana na sljedećem slide-u.
- ❑ Matrica sistema projektira se off-line (na isti način kao i Lista prozivanja kod Master/slave komunikacije).



# TTCAN

## Primjer cikličkog redosljeda poruka na TTCAN-u





## 9.7. TTP

### TTP protokol

- ❑ **TTP – Time-Triggered Protocol**
- ❑ Cilj: RT protokol niske cijene za povećanje sigurnosti vremenski kritičnih sistema.
- ❑ Izvorna primjena: “X-by-wire”
- ❑ Dvije oznake
  - **TTP/C**
    - distribuiran sistem otporan na kvarove
  - **TTP/A**
    - nije distribuiran protokol
    - za jeftine senzor-aktuator mreže
    - master-slave komunikacija (slično kao kod PROFIBUS DP)
    - komunikacija preko UART-a
    - TT komunikacija za 2\$ po čvoru.

# TTP

## TTP/C protokol

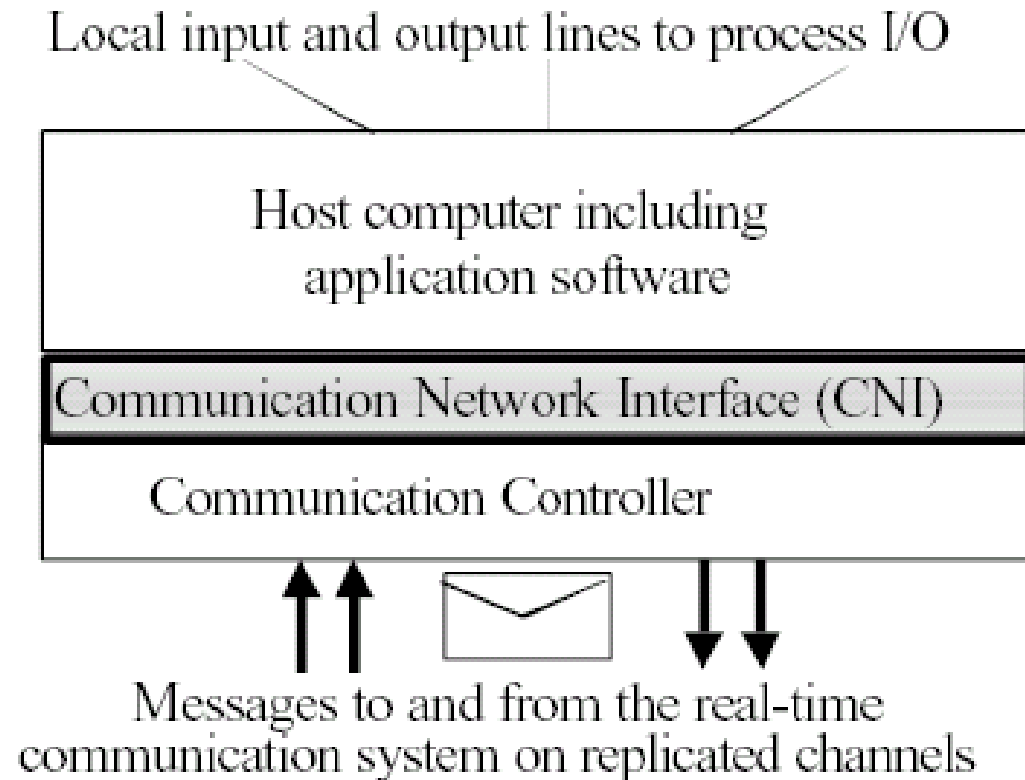
- TT komunikacijski protokol za distribuirane RT sisteme otporne na kvarove.
- Temelji se na TDMA postupku pristupa mediju:
  - ✓ Malo kašnjenje i mala promjenjivost prijenosa poruka.
  - ✓ Malo redundantnih bitova u okviru.
  - ✓ Nema potrebe za ponavljanjem slanja neispravnih poruka.
- Distribuirana sinhronizacija lokalnih satova stvarnog vremena otporna na kvarove.
- Distribuirano upravljanje redundancijom.
- Brzina prijenosa do 25 Mbit/s, moguće i više.





# TTP

## Struktura TTP/C sistema

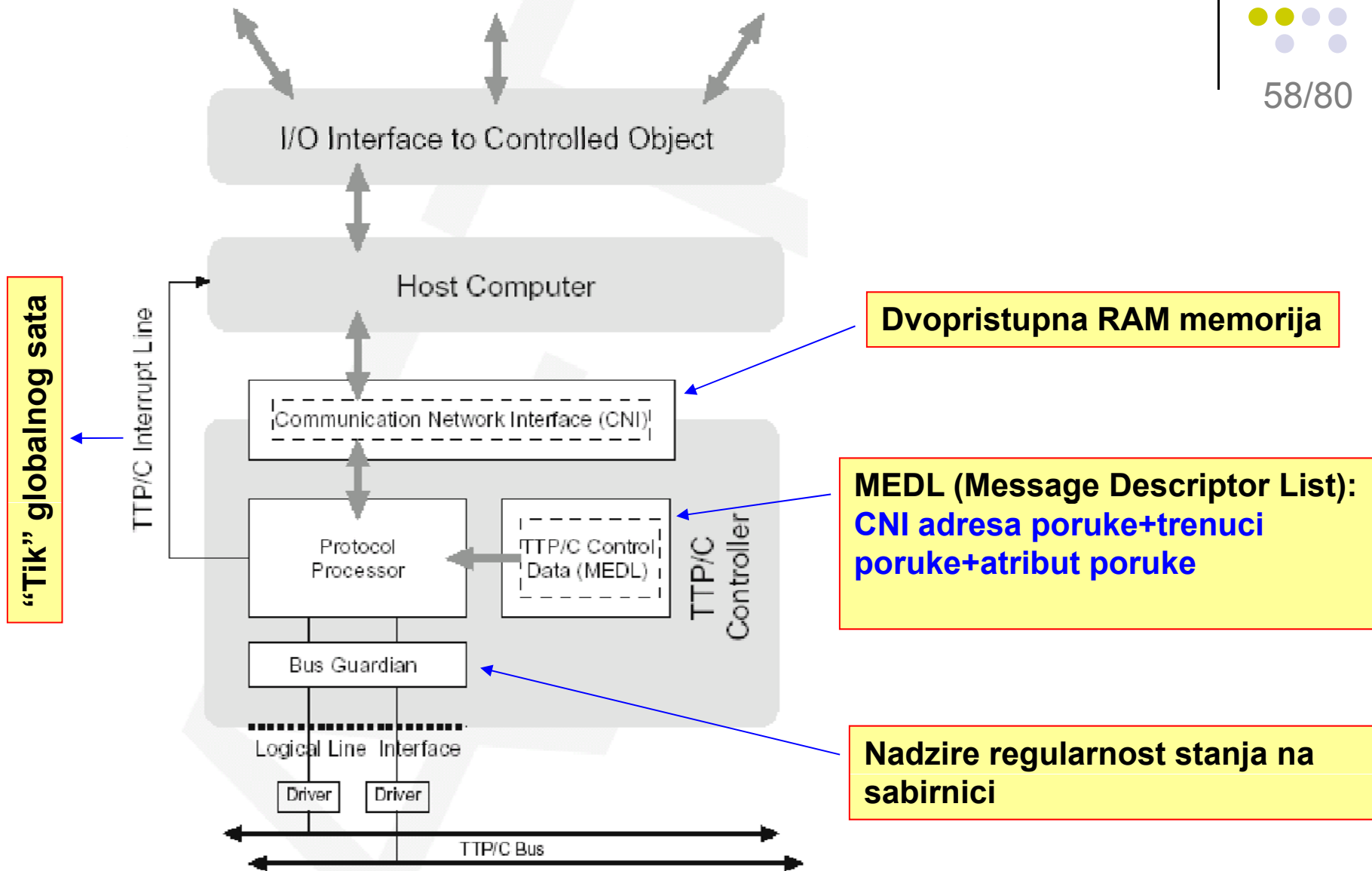


57/80

- ❑ CNI je sučelje između aplikacijskog sloja (glavni procesor) i sloja protokola TTP/C čvora (komunikacijski kontroler).
- ❑ TTP/C protokol se izvodi na TTP/C komunikacijskom kontroleru.
- ❑ Aplikacije se izvode na glavnom procesoru (Host računar),

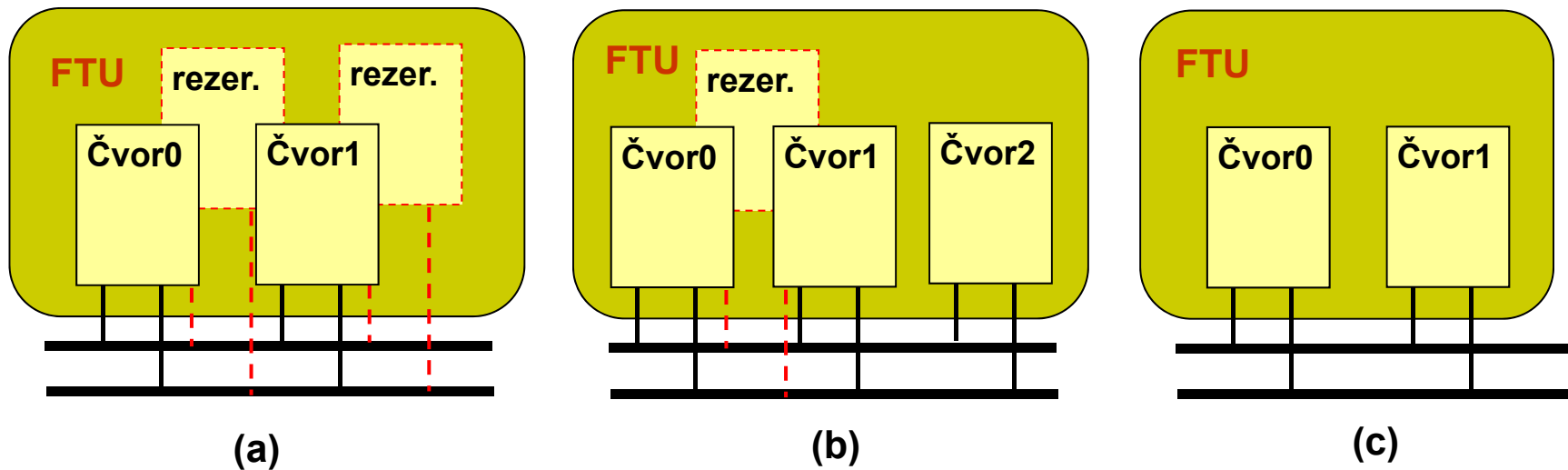
# TTP

## Čvor TTP/C sistema



# TTP

## Redundancija u TTP/C

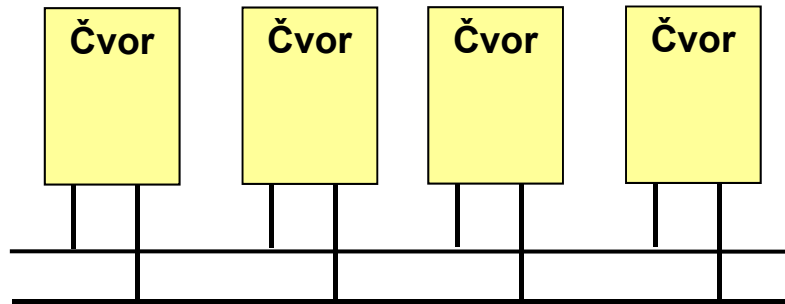


**FTU (Fault Tolerant Unit - jedinica otporna na kvarove) konfiguracije:**

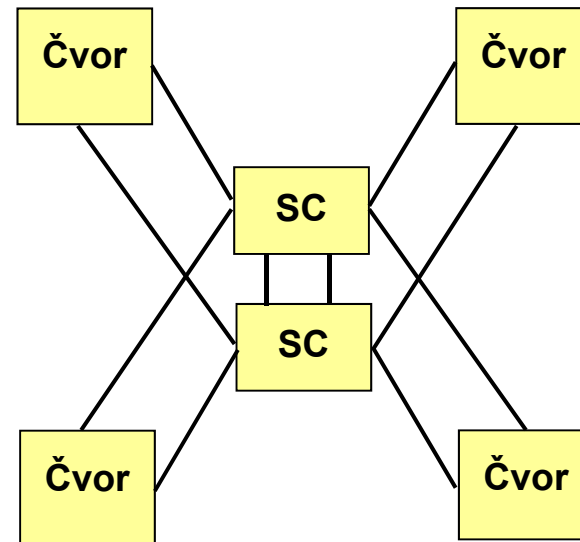
- a) Dva aktivna čvora, dva rezervna čvora,
- b) Tri aktivna čvora, jedan rezervni (Triple Modular Redudancy),
- c) Dva aktivna čvora bez rezervnih čvorova.

# TTP

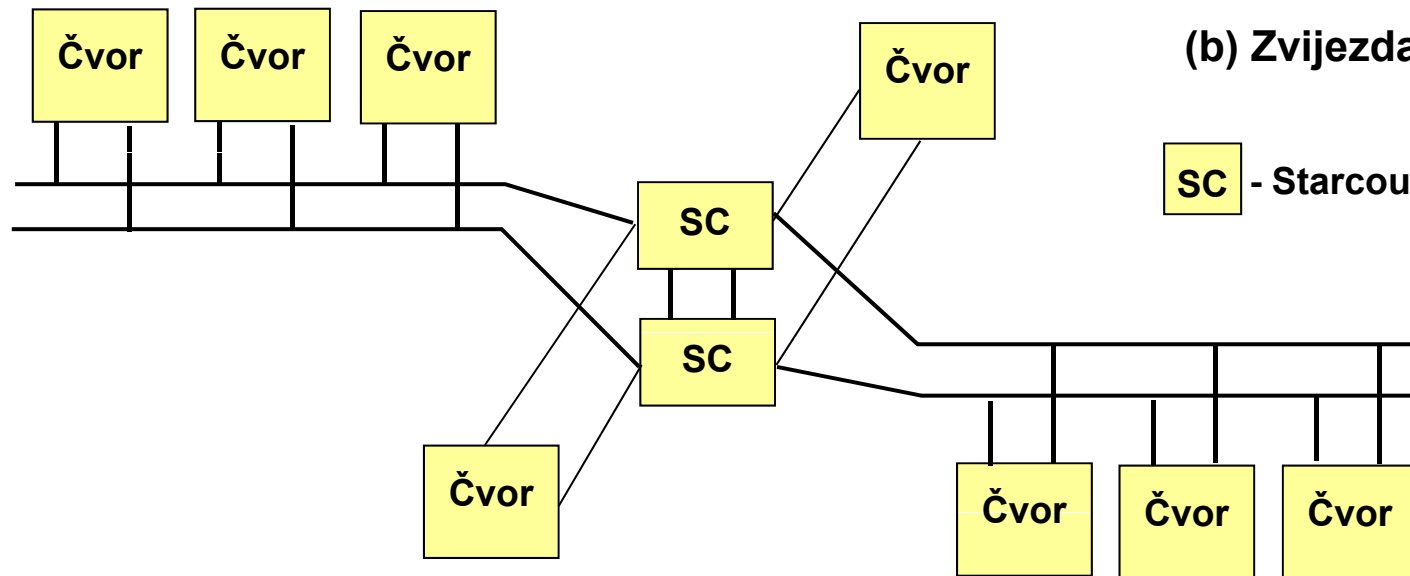
## Topologije TTP/C-a



(a) Sabirnica (bus)



(b) Zvijezda (star)



(c) Kombinacija (bus/star)



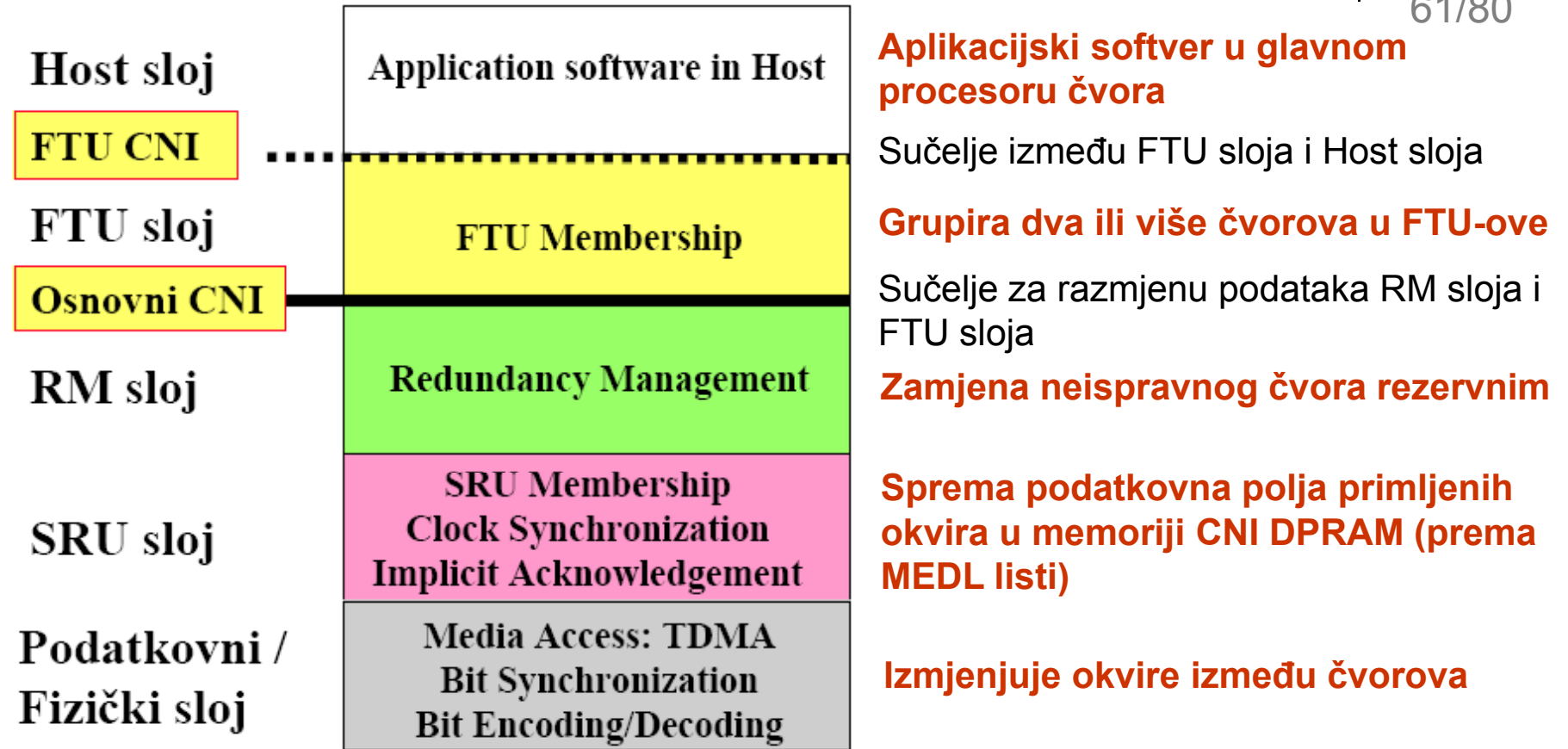
SC - Starcouple uređaj za jedan kanal

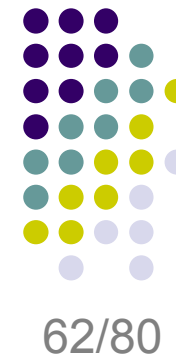
# TTP

## Slojnost TTP/C protokola (slog protokola)



61/80

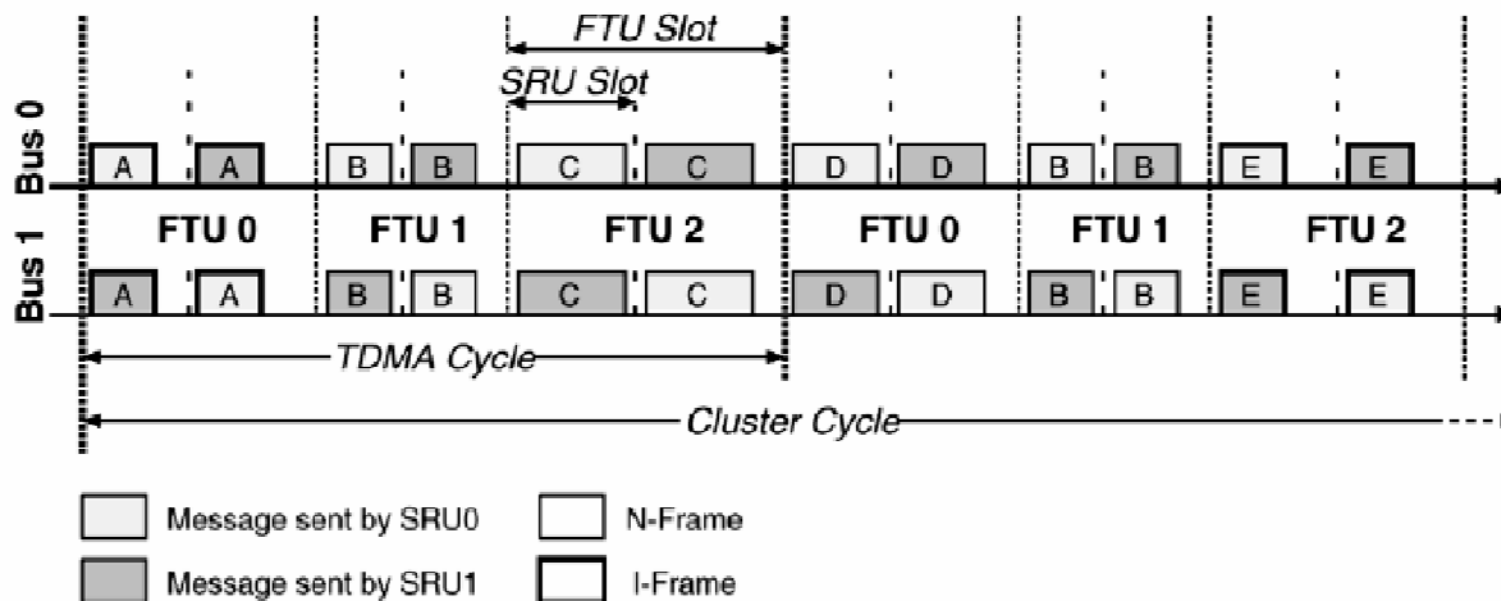




# TTP

## Slojnost TTP/C protokola (slog protokola)

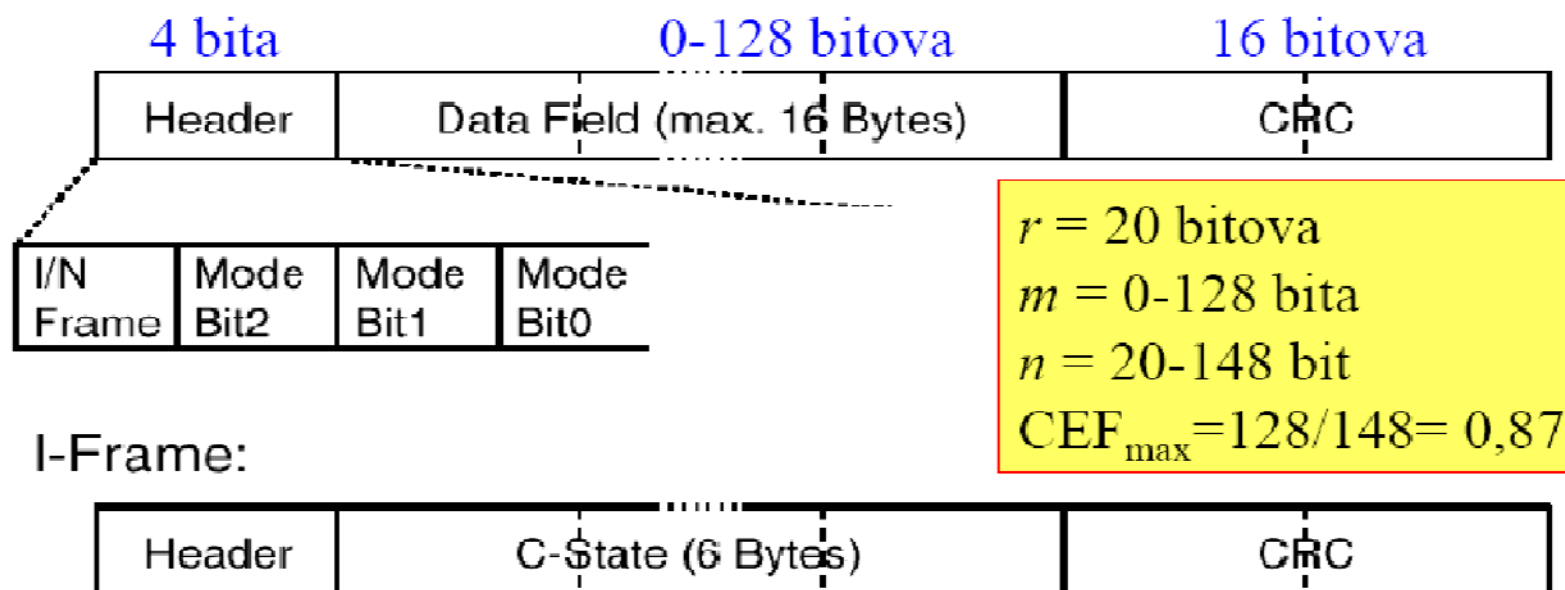
- ❑ SRU ciklus
  - Ciklus u kome SRU pošalje poruku.
- ❑ FTU ciklus
  - U primjeru na slici svaki FTU se sastoji od 2 SRU, svaki SRU pošalje poruku na obje sabirnice.
- ❑ TDMA ciklus
  - Ciklus u kome svi FTU-ovi pošalju poruku.
- ❑ Ciklus “klastera”
  - Sadržaj i duljina okvira više TDMA ciklusa u nizu mogu se razlikovati.
  - Ovaj ciklus označava period ponavljanja takve skupine TDMA ciklusa.



# TTP

## TTP/C okvir

- I-okviri se koriste za inicijalizaciju.
- N-okviri se koriste za normalne poruke.



# TTP

## Prednosti i nedostaci TTP/C protokola

### □ Prednosti

- Protokol jednostavan za implementaciju.
- Determinističko vrijeme odziva.
- Nema gubljenja vremena na slanje “polling” poruka.

### □ Nedostaci

- Gubljenje resursa kada su neki čvorovi izvan funkcije.
- Sat stvarnog vremena mora biti vrlo stabilan.
- Fiksna dimenzija mreže za vrijeme instalacije.





## 9.8. FlexRay

### Karakteristike FlexRay-a

- ❑ **Komunikacijski protokol za distribuirane sisteme za rad u stvarnom vremenu koji je otporan na kvarove.**
- ❑ Podržava statičku (TDMA) i dinamičku (ET) komunikaciju. Za svaki poseban vremenski odsječak bez preklapanja – kombiniranje navedene dvije tehnike.
- ❑ Podržava optičke i električne prijenosne medije.
- ❑ Pouzdano otkrivanje grešaka u vremenskom području (Bus guardian) i u području vrijednosti (CRC).
- ❑ Podržava zvjezdaste i sabirničke topologije.
- ❑ Brzine prijenosa 5 i 10 Mbit/s, a može i više ako se koristi sabirnica sa 64 čvora (ide se na 100 Mbit/s).
- ❑ Otpornost na stanja kvara – omogućuje redundantne komunikacijske kanale.



BMW Group

DAIMLERCHRYSLER



PHILIPS

DigitalDNA™  
from Motorola

BOSCH



# FlexRay

## FlexRay modul (čip)

2003 NEC proizveo silicijski FlexRay čip.

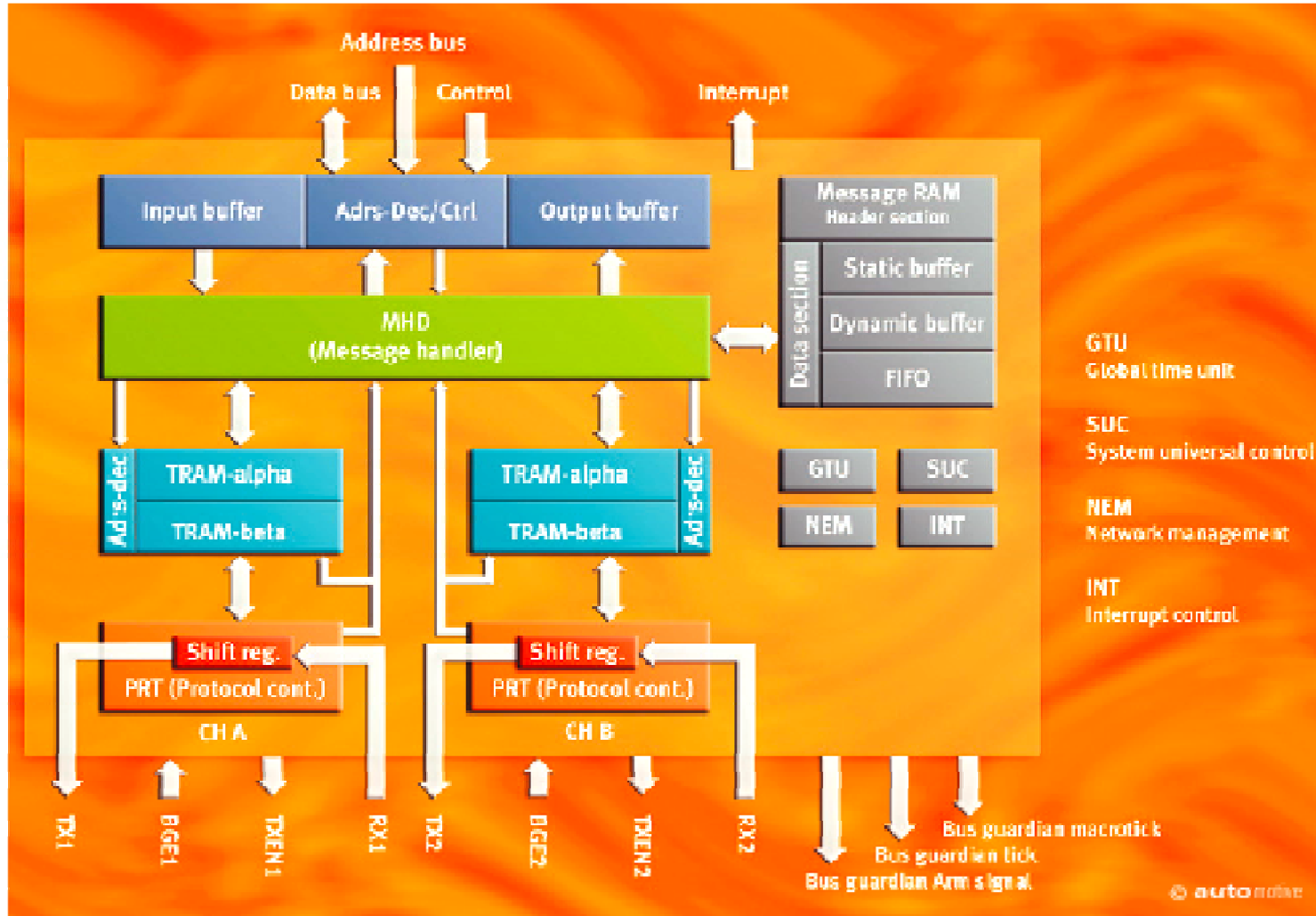
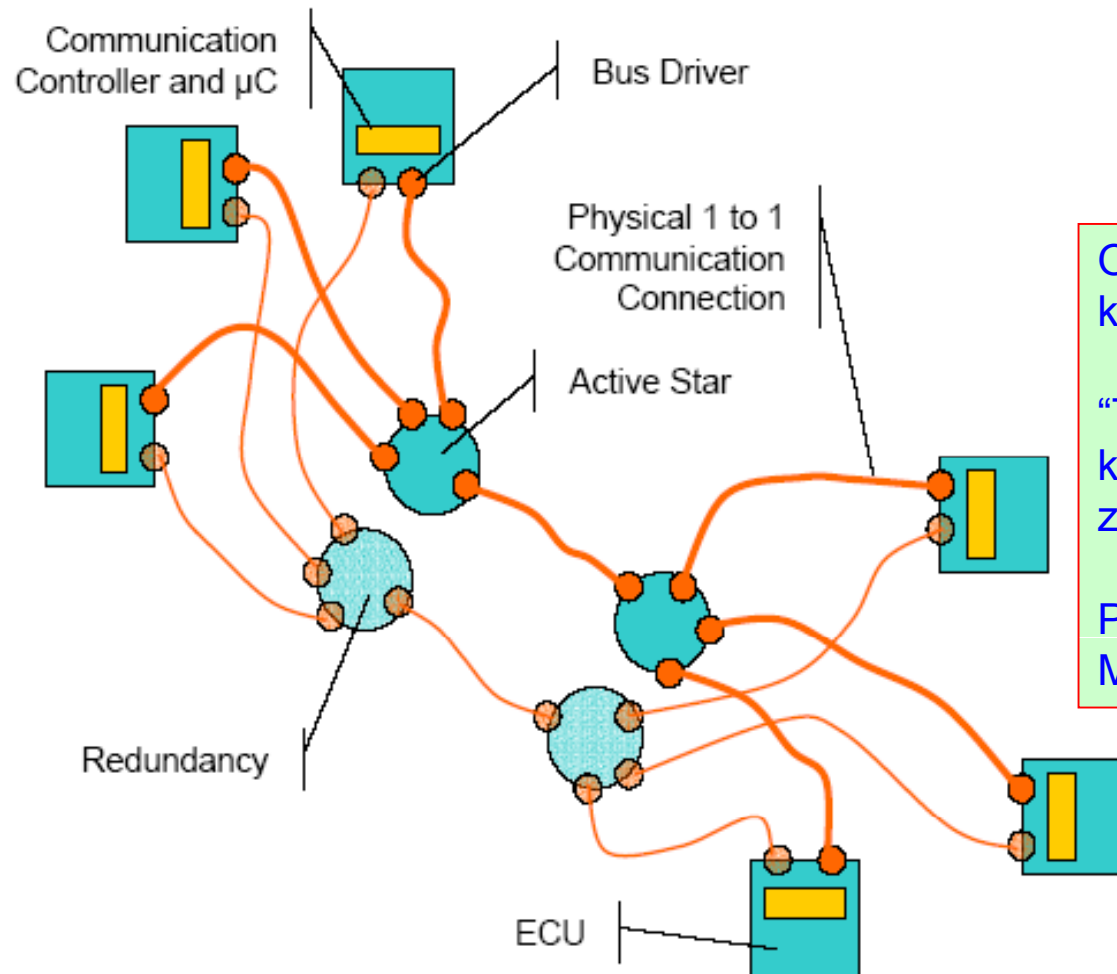


Figure 1. Block diagram of FlexRay module

# FlexRay

## Topologija – aktivna zvijezda



ECU – Electrical Control Unit

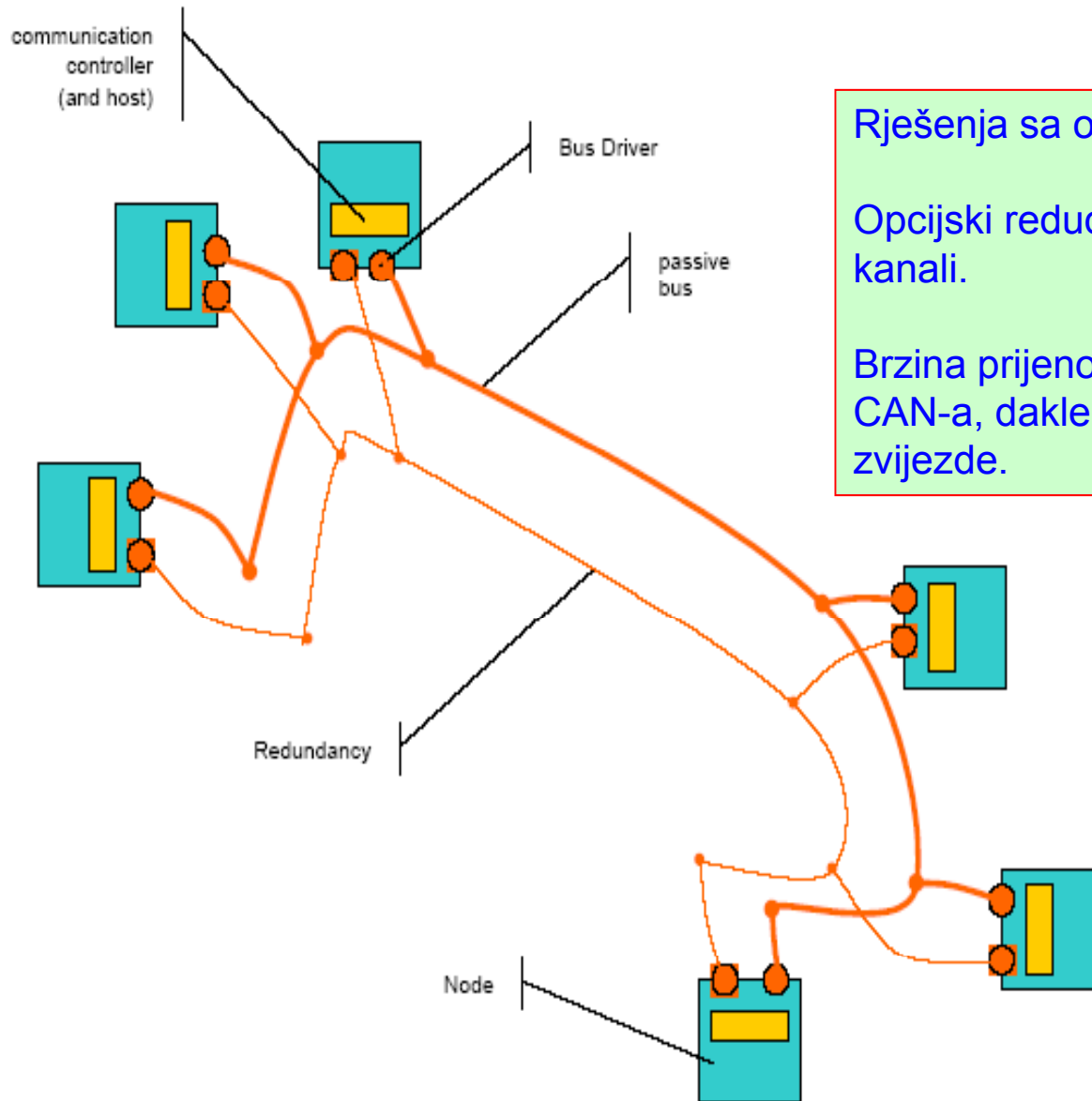
Opcijski redundantni komunikacijski kanali.

“Tačka-tačka” kombinacija u kombinaciji sa aktivnim zvijezdama.

Podržava brzinu prijenosa od 5 Mbit/s.

# FlexRay

## Topologija – pasivna sabirnica



Rješenja sa ograničenjima.

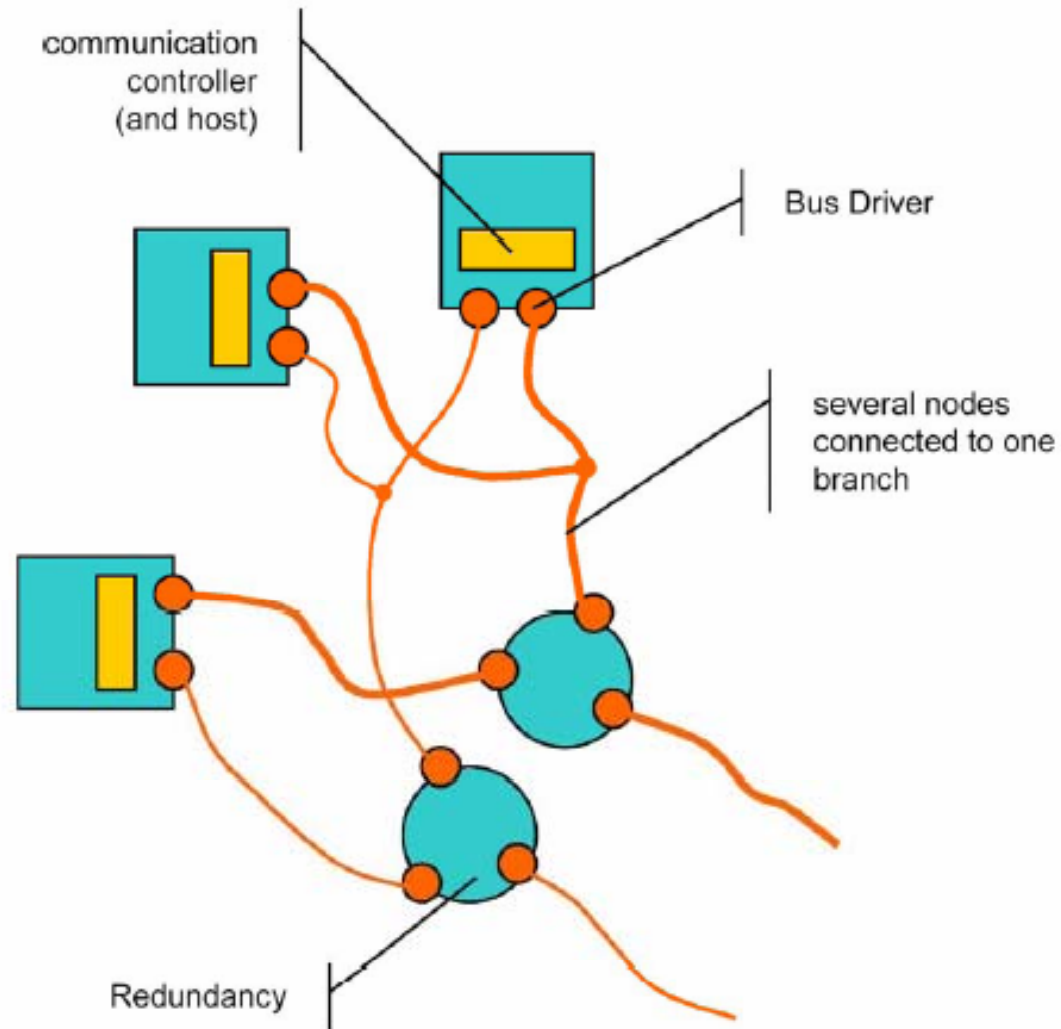
Opcijski redundantni komunikacijski kanali.

Brzina prijenosa, slična kao kod CAN-a, dakle niža nego kod zvijezde.

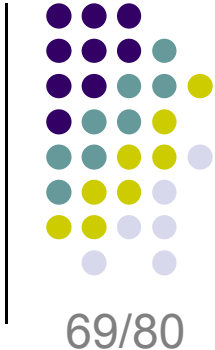


# FlexRay

## Topologija – kombinacija

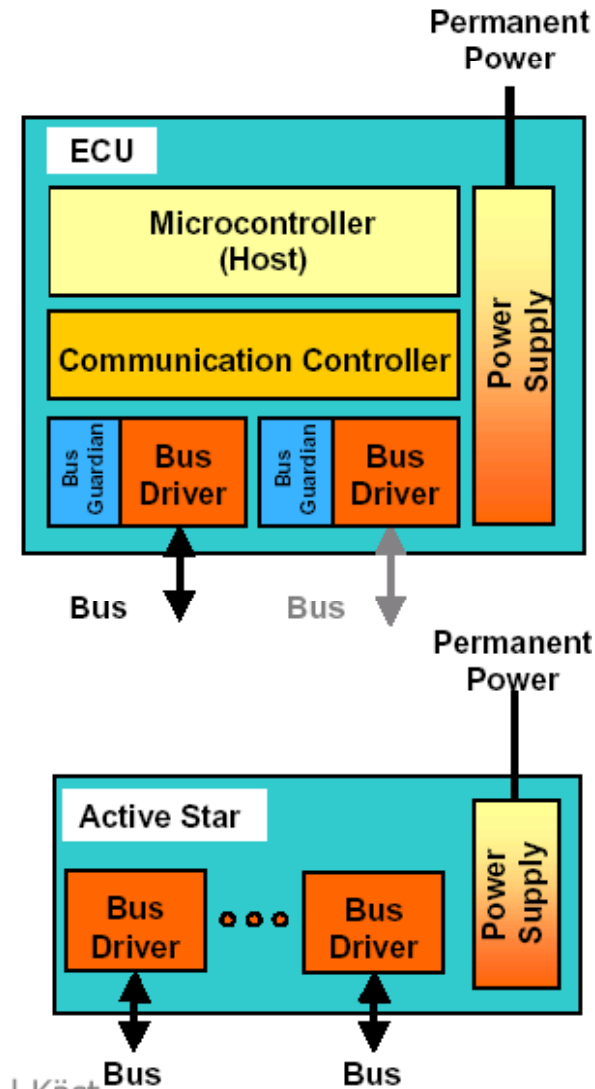
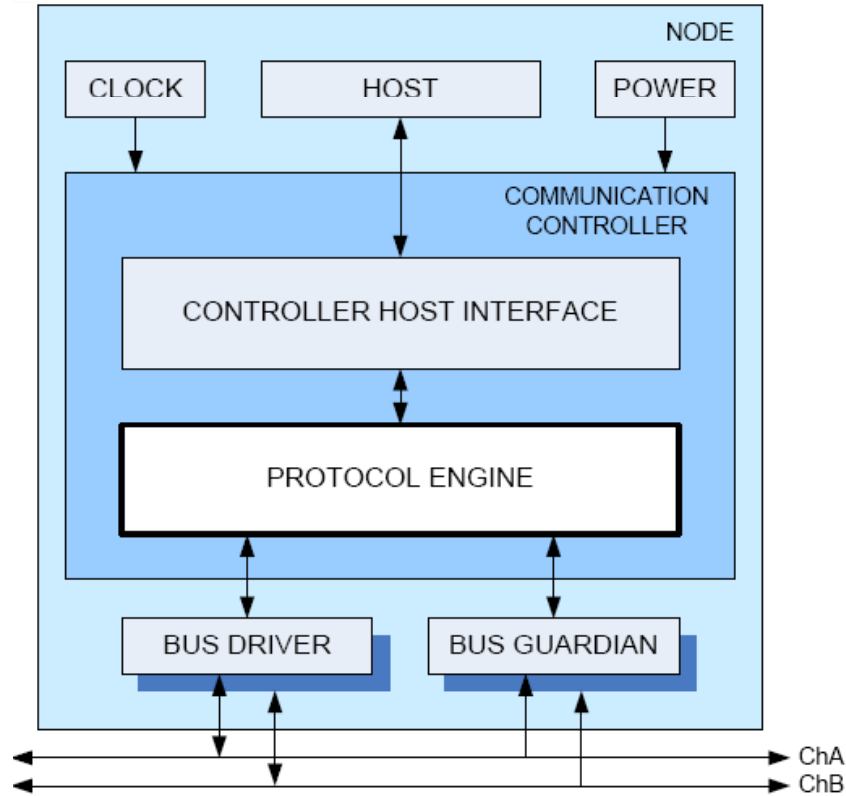


Kombinacija aktivna zvijezda + pasivna sabirnica.



# FlexRay

## ARhitektura čvora



70/80

**CC (communication controller) upravlja komunikacijom između glavnog računara, čvora i sabirnice.**

**BG (Bus Guardian) nadzire vremensku ispravnost prijenosa poruke.**

# FlexRay

## Prijenos okvira

□ Komunikacijski ciklus je podijeljen na dva dijela:

- **Statički dio**

- TDMA koncept slanja.
- Za poruke visokog prioriteta.
- Svaki čvor dobiva vlastiti vremenski odsječak.
- Čvorovi koji su spojeni na oba komunikacijska kanala šalju istovremeno na oba.

- **Dinamički dio**

- Za poruke nižeg prioriteta.
- Poruke se šalju prema “Byteflight” protokolu
  - Fleksibilni TDMA - slično ET kod CAN-a, ali sa cikličkim vremenom.
- Promjenjivi vremenski odsječci.

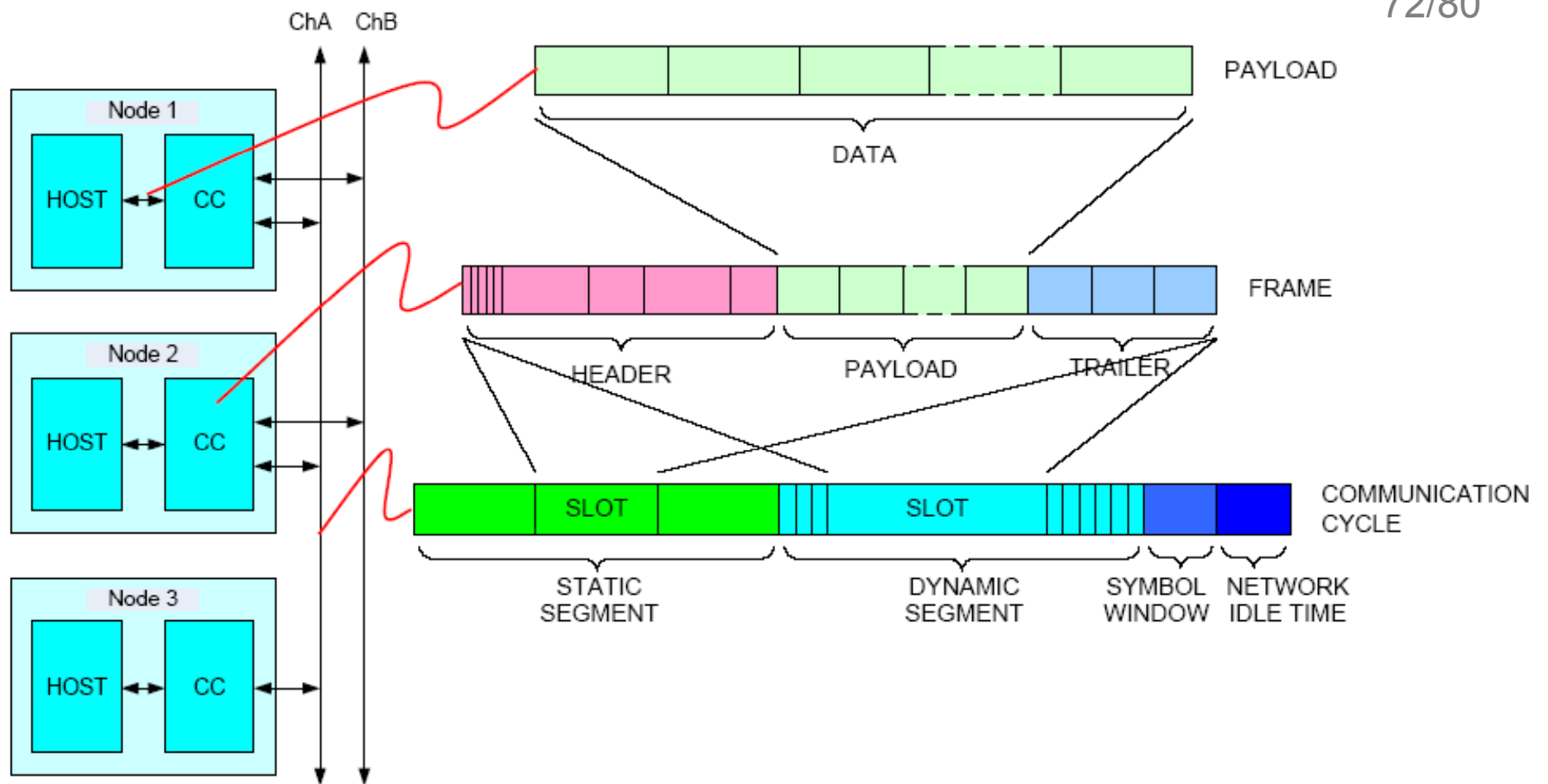


# FlexRay

## Prijenos okvira



72/80

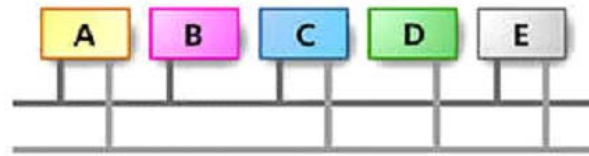


CC = Communication Controller



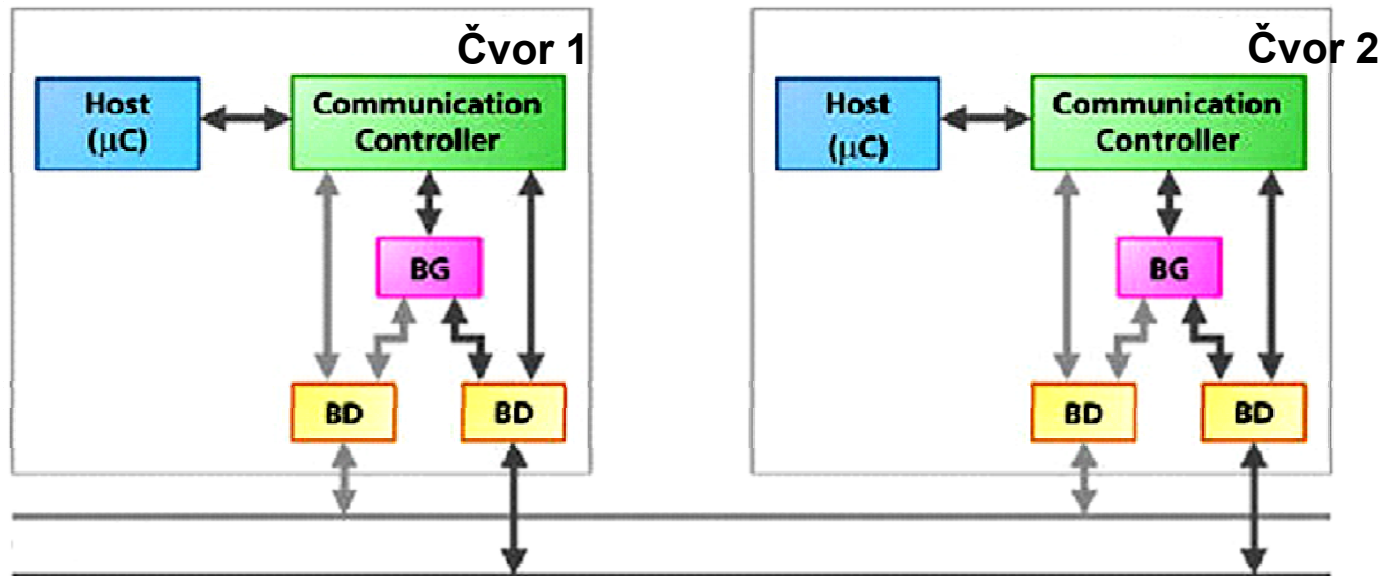
# FlexRay

## Prijenos okvira



Kanal 1

Kanal 2



Kanal 1

Kanal 2

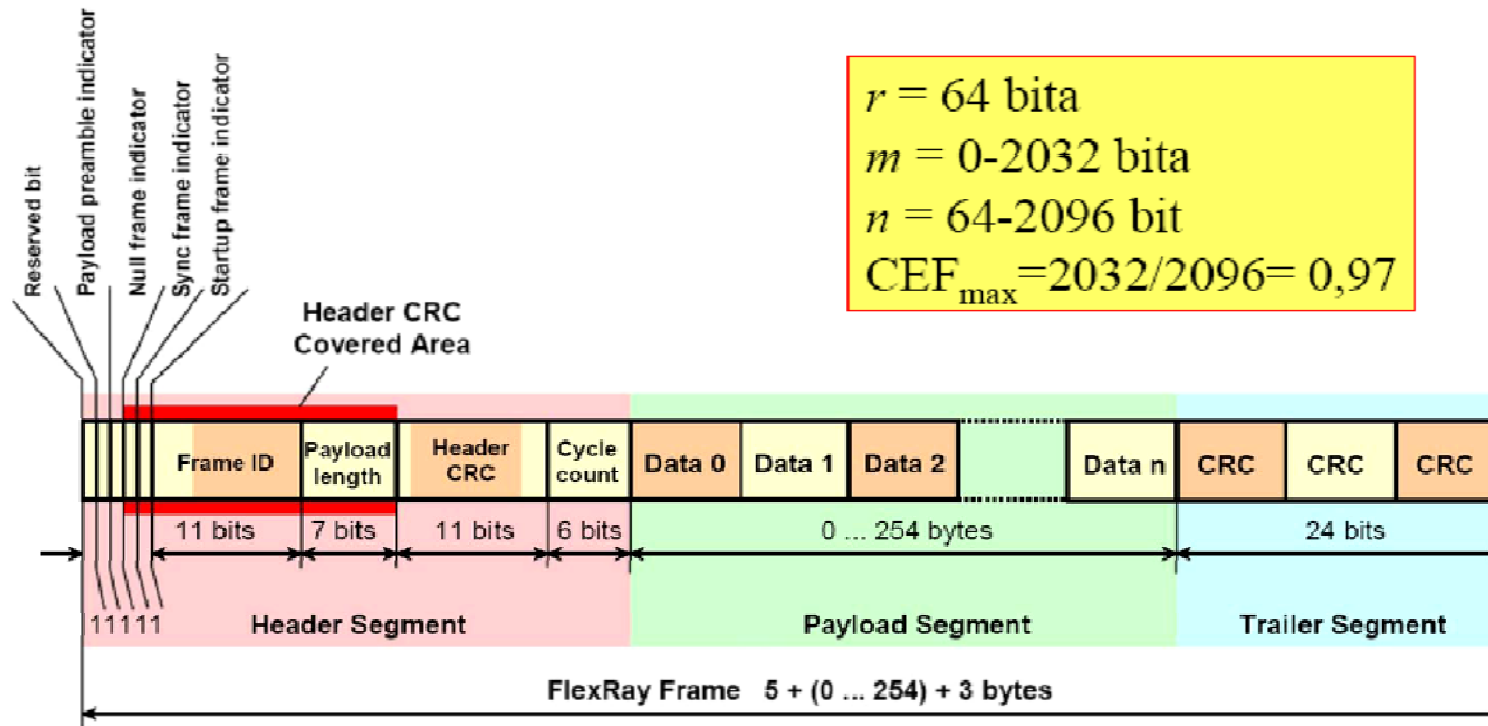


# FlexRay

## Format okvira



74/80



# FlexRay

## Primjena

- Sigurnost

- By-Wire Sistemi
- Sistemi kočenja (npr. elektromehaničko kočenje)
- Sistemi upravljanja (npr. upravljanje električnom energijom)
- Sistemi upravljanja vučom (npr. program elektroničke stabilnosti, inercijalni senzori)
- Zračni jastuci.

Ove primjene su omogućene jer FlexRay:

- ✓ ima redundantne kanale
- ✓ otporan je na kvarove
- ✓ predstavlja deterministički protokol.

- Prijenosni mehanizmi

- Elektroničko upravljanje prijenosom
- Adaptivno slijeđenje
- Elektroničko upravljanje ventilom
- Dijagnostika.

Ove primjene su omogućene jer FlexRay:

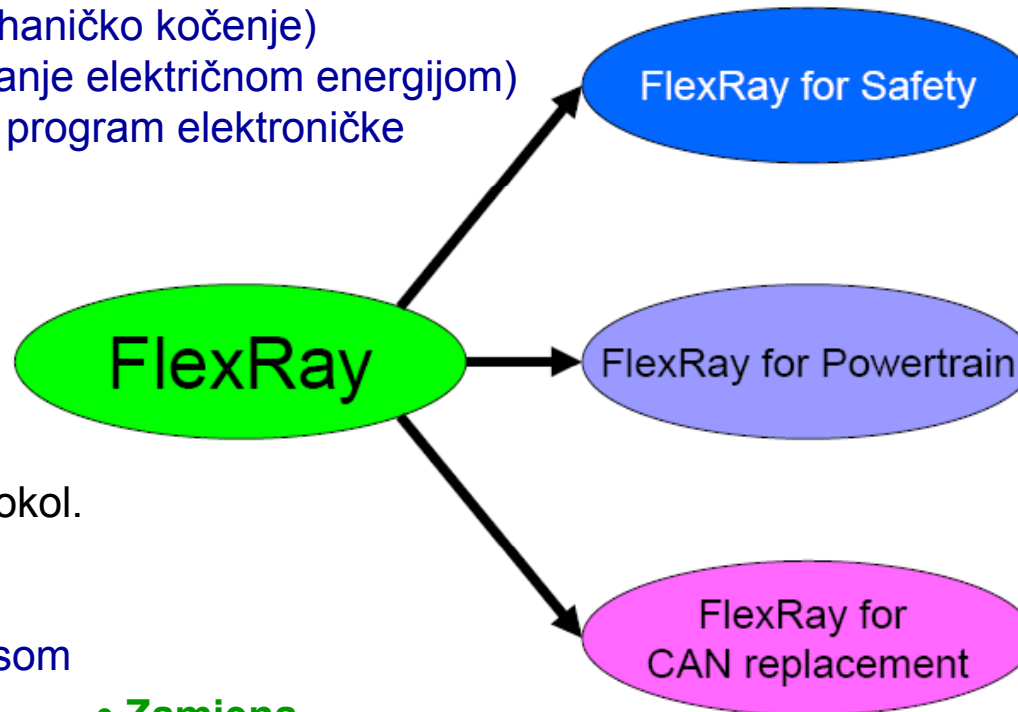
- ✓ ima širok propusni opseg
- ✓ predstavlja deterministički protokol.

- Zamjena

- Sve primjene gdje se trenutno koristi CAN (novo: prelaz sa CAN-a korištenjem VHDL-a)

Ove primjene su omogućene jer FlexRay:

- ✓ ima širok propusni opseg (10 Mbps u odnosu na 1 Mbps)
- ✓ ima dva neovisna kanala (zamjenjuje 2 periferna CAN-a)
- ✓ prijenos sa slobodnom arbitražom.

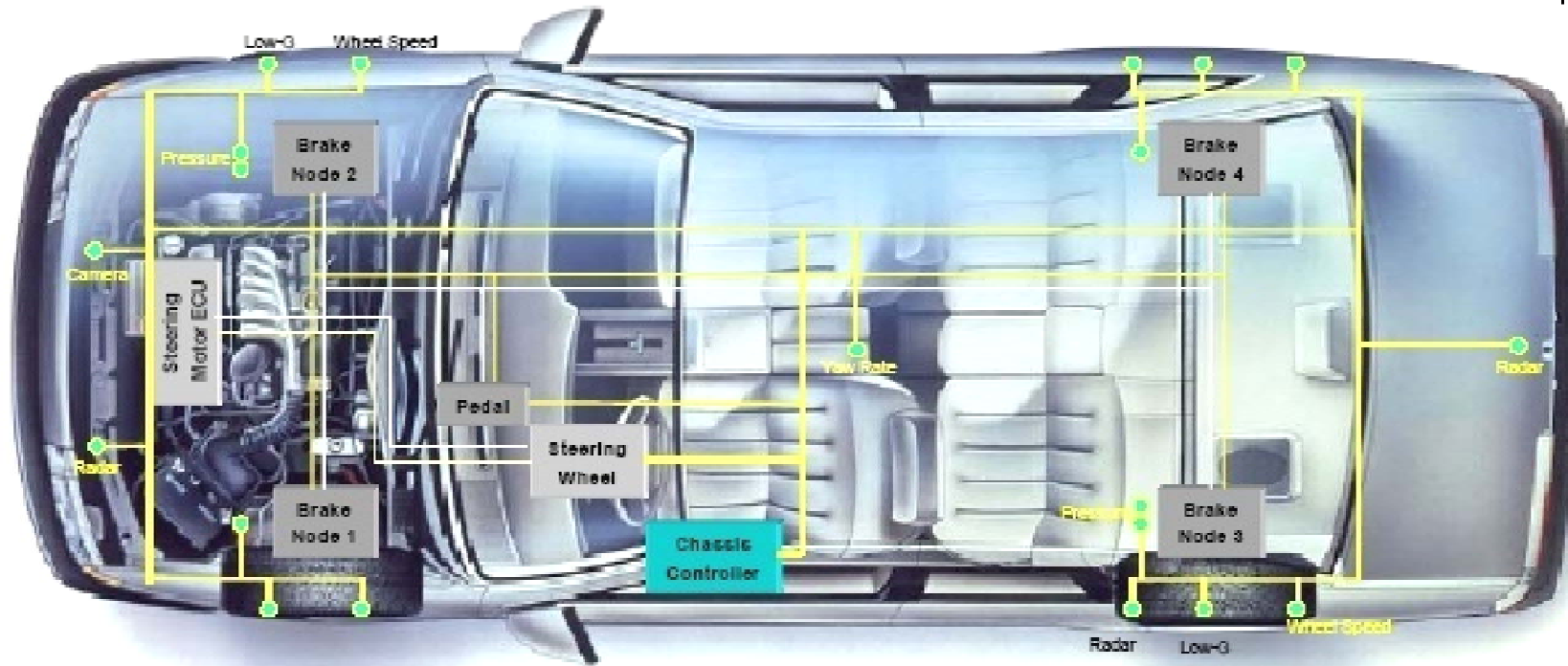


# FlexRay

## Primjer automobilske aplikacije



76/80



- FlexRay je na kvarove tolerantan, deterministički i vremenski trigerovan komunikacijski protokol.
- Ima intenciju da postane globalni standard za napredno automobilsko upravljanje.
- Od njega se zahtijeva da omogući sljedeću generaciju “by-wire” aplikacija.

# FlexRay

## FlexRay razvojni sistem



77/80

### FlexRay Developer's Kit



FlexRay Developer's Kit

### FlexRay Daughter Card & 56F8300 EVB



# FlexRay

## Usporedba TTP/C i FlexRay



### TTP/C

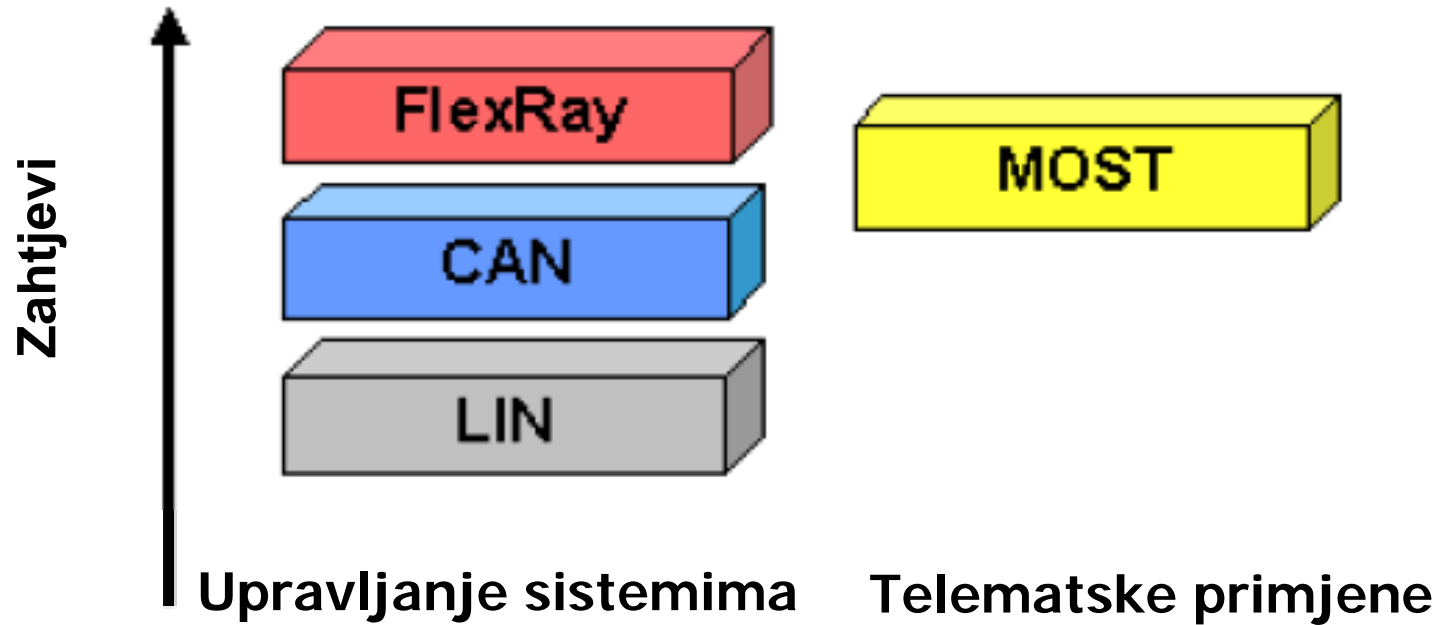
- Kvalitetnije uključene sigurnosne funkcije.
- Manje fleksibilan
  - ✓ nema asinhronog prijenosa, ali se razvija, tako da se emulira u softveru.
- Bolje razrađen od FlexRay-a, jer se razvija preko 20 godina.
- Niža cijena po čvoru.

### FlexRay

- Fleksibilniji od TTP/C-a.
  - ✓ Omogućuje i sinhroni i asinhroni prijenos.
- Neke sigurnosne funkcije nisu uključene u komunikacijski kontroler, već su prepuštene aplikacijskim programima.
- Još uvijek u razvoju
  - FlexRay konzorcij osnovan 1999 godine.

# FlexRay

## Usporedba automobilskih mreža



FlexRay je dizajniran da osigura ključne automobilske zahtjeve, kao što su ovisnost, fleksibilnost i velika brzina prijenosa podataka kako bi se nadopunili glavni automobilski mrežni standardi CAN i LIN.

# FlexRay

## Usporedba automobilskih mreža

