

Univerza v Ljubljani



Univerza v Ljubljani  
Fakulteta za elektrotehniko

# **Komunikacije v avtomatiki**

## **Industrijska omrežja**

**Stanislav Kovačič**



<http://vision.fe.uni-lj.si>

**2013/14**

# Industrijska omrežja

- Okolje, v katerem se uporabljajo
  - Pomen informacije, ki jo prenašajo
  - Naprave, ki jih povezujejo
  - Časovno kritični sistemi
  - Delovanje v realnem času
  - Pomembnejša je odzivnost od prepustnosti
  - Prioritetno obravnavanje podatkov
  - Predvidljivost komuniciranja
- 
- (Angl. **Fieldbus**) --- Industrijska (področna) vodila
  - (LON) --- Local Operating Networks

# Industrijska omrežja

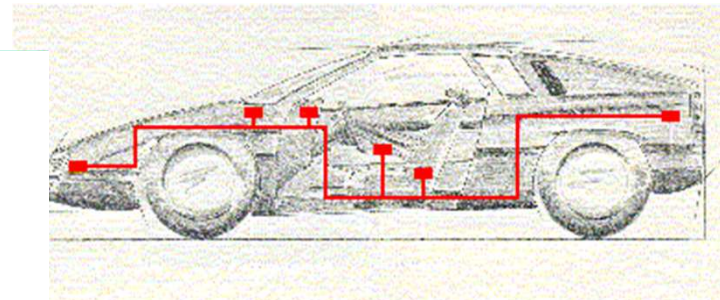
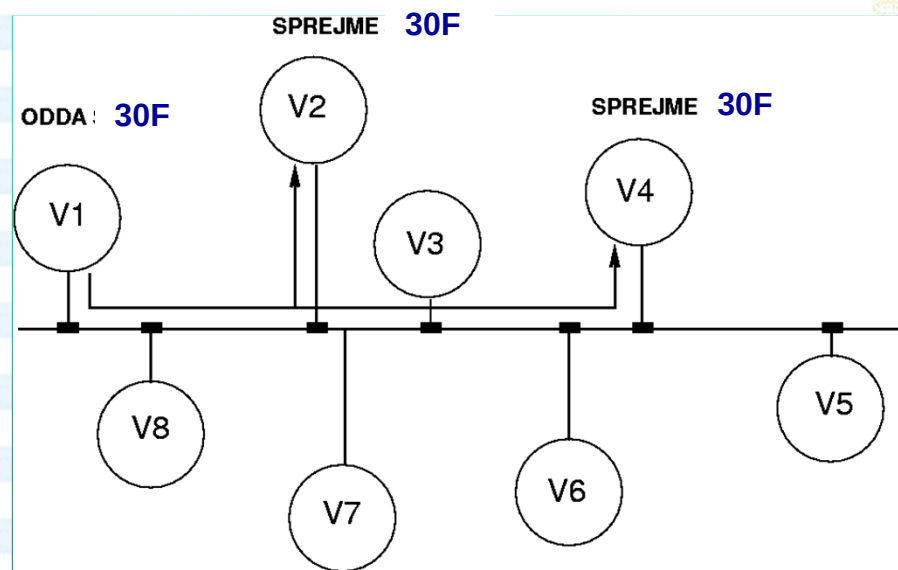
- Nekatere tehnologije
  - Profibus
  - Profinet
  - P-Net
  - W-FIP
  - Modbus
  - Interbus
  - LonWorks
  - CAN, DeviceNet
  - AS-I
  - IEC 61 158 --- Fieldbus standard

# CAN - Controller Area Network

- Razvoj podjetja Robert Bosch GmbH
- Mednarodni standard ISO 11 898
- Danes prisoten v mikrokontrolerih (npr. HC08, HCS12), PLC
- Prvotno namenjen za avtomobilsko industrijo
- Primarno še vedno v vozilih, vendar tudi drugje
- Topologija: vodilo
- Hitrost prenosa: odvisna od dolžine kabla (vodila)
- 1Mb/s – 50 m, 500 kb/s – 100 m, i.t.d.
- Prioritetno obravnavanje podatkov
- Komunikacije v realnem času
- Determinističen dostop (?)
- Funkcionalnost spodnjih dveh slojev ISO OSI
- Višji sloji: DeviceNet, CANopen, CANKingdom, ...

# CAN naslavljanje

- Vozlišča nimajo naslovov
- Telegram imaj naslov oziroma identifikacijsko številko
- Vozlišča so konfigurirana za oddajanje telegramov z danimi naslovi
- Vozlišča so konfigurirana za sprejemanje telegramov z danimi naslovi



# Dostop do kanala (CSMA/CE)

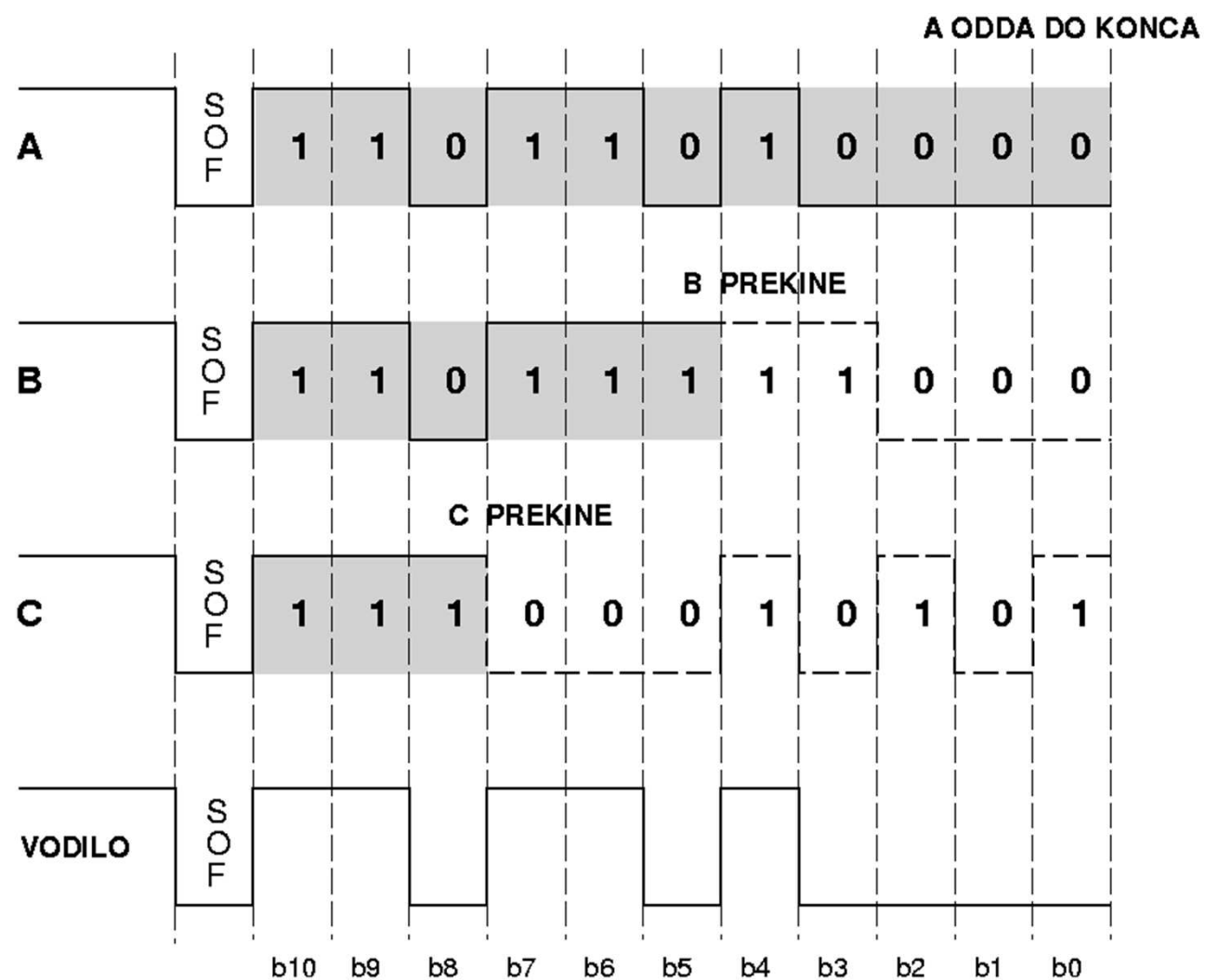
- Vodilo (kanal) deluje kot krajevno porazdeljena logična IN vrata
  - Enica je 'recesivna'
  - Ničla je 'dominantna'
  - V primeru sočasne oddaje dveh postaj ničla prevlada nad enico.
- Na tem je zasnovan prioritetni dostop do kanala
  - Vsak telegram ima svojo oznako – ID številko
  - Oznaka hkrati pomeni prioriteto telegrama
  - V primeru začetka oddaje dveh postaj, prevlada telegram z nižjo številko

## Dostop do kanala - primer

|                     | $b_{10}$ | $b_9$ | $b_8$ | $b_7$ | $b_6$ | $b_5$ | $b_4$ | $b_3$ | $b_2$ | $b_1$ | $b_0$ |
|---------------------|----------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| Vozlišče <i>A</i> : | 1        | 1     | 0     | 1     | 1     | 0     | 1     | 0     | 0     | 0     | 0     |
| Vozlišče <i>B</i> : | 1        | 1     | 0     | 1     | 1     | 1     | 1     | 1     | 0     | 0     | 0     |
| Vozlišče <i>C</i> : | 1        | 1     | 1     | 0     | 0     | 0     | 1     | 0     | 1     | 0     | 1     |

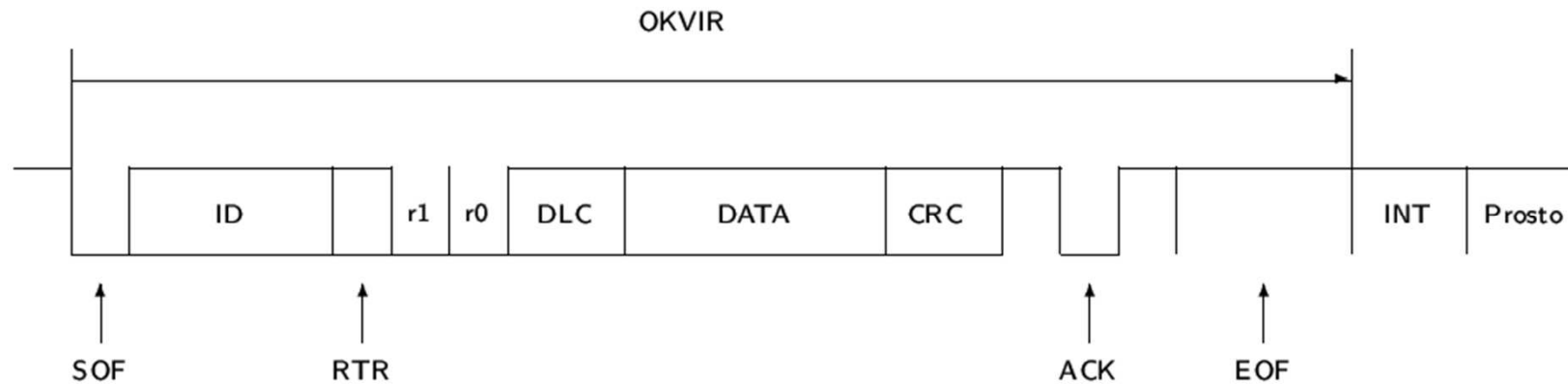
- Predpostavljamo začetek sočasne oddaje vozlišč A, B, C
- Vozlišče A odda telegram z najvišjo prioriteto
- Vozlišča med oddajanjem tudi poslušajo – sprejemajo
- Če se tisto, kar sprejmejo razlikuje od tistega, kar oddajo, prekinejo z oddajo in samo še sprejemajo

# Dostop do kanala - primer





# CAN – oblika telegrama



- Standardni CAN (CAN 2.A) – 11 bitni ID
- Razširjeni CAN (CAN 2.B) – 29 bitni ID

# CAN – oblika telegrama

- SOF (Start Of Frame) – začetek telegrama – dominantna ničla
- ID – identifikacijska številka, nižja vrednost – višja prioriteta
- RTR (Remote Transmission Request) – zahteva za oddajo okvirja
  - Okvir (telegram) običajno odda vozlišče samo, lahko pa da pobudo za oddajo neko drugo vozlišče
- DLC (Data Length Control) – dolžina podatkovnega dela telegrama
  - štirje biti (0 do 8 bajtov podatkov)
- r1, r0 – rezervirano
- DATA – do 8 bajtov podatkov
- CRC – 15-bitni CRC ostanek deljenja s polinomom:

$$x^{15} + x^{14} + x^{10} + x^8 + x^7 + x^4 + x^3 + 1$$

- ACK – potrdilna reža
- EOF – (End Of Frame) sedem recesivnih enic
- NRZ kodiranje signala z vrivanjem bitov na 5 enakih simbolov

# Časovna analiza CAN

- Množica sporočil urejenih po padajočih prioritetah

množica sporočil  $S = \{S_1, S_2, \dots, S_m, \dots, S_M\}$ .

- Množica trajanj sporočil

množica trajanj  $C = \{C_1, C_2, \dots, C_m, \dots, C_M\}$ .

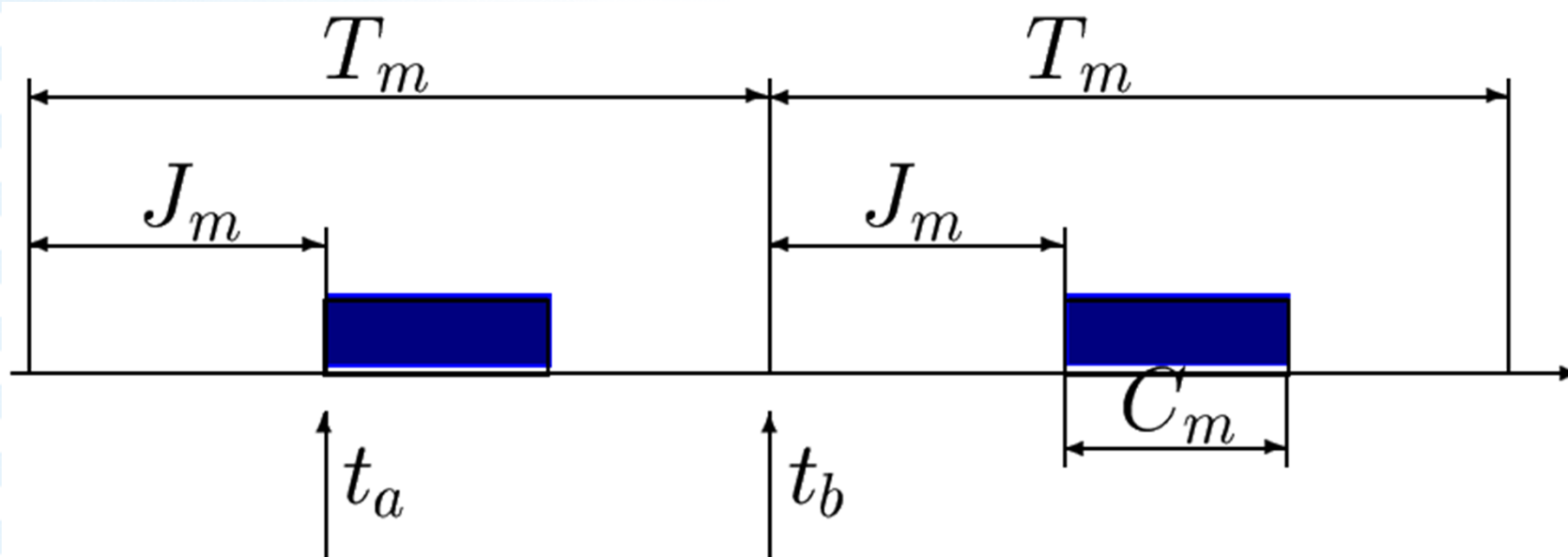
- Ponovljivost

množica period  $T = \{T_1, T_2, \dots, T_m, \dots, T_M\}$ .

- Razvrstitvena negotovost

množica negotovosti  $J = \{J_1, J_2, \dots, J_m, \dots, J_M\}$ .

# Časovna analiza CAN



# Časovna analiza CAN

- Množica skrajnih rokov (angl. Deadline)

množica rokov  $D = \{D_1, D_2, \dots, D_m, \dots, D_M\}$ .

- Odzivnost

množica odzivnih časov  $R = \{R_1, R_2, \dots, R_m, \dots, R_M\}$ .

Zahteva za delovanje v realnem času (razvrstljivost):

$$R_m \leq \min\{(T_m - J_m), D_m\}, \quad (m = 1, 2, \dots, M).$$

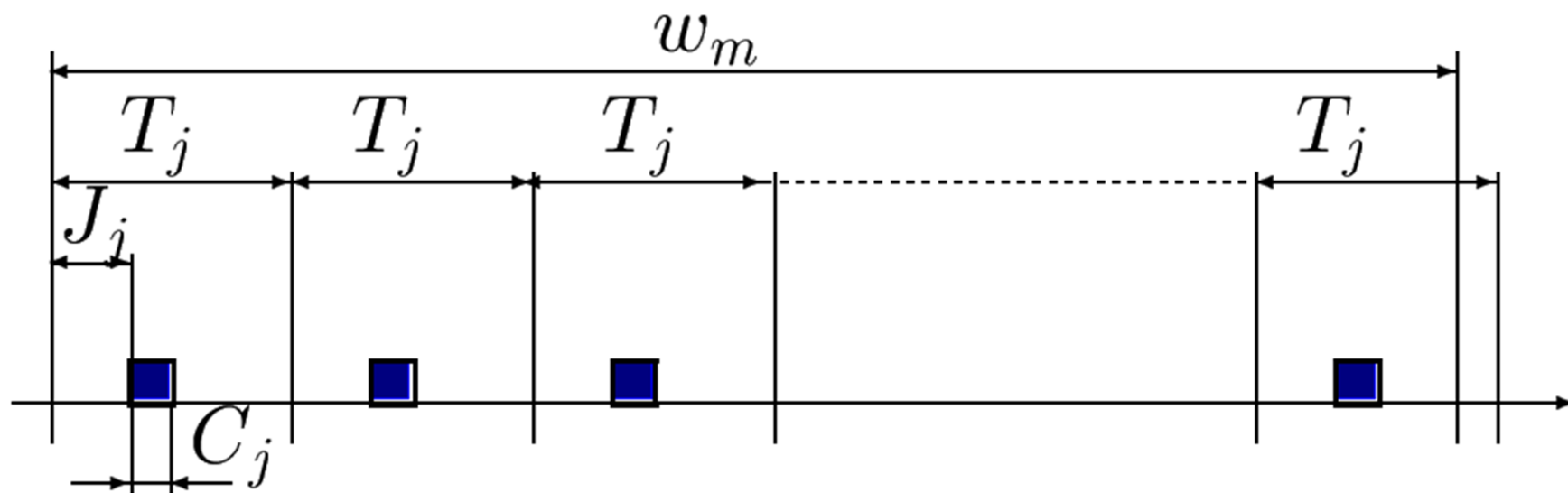
# Časovna analiza CAN

$$R_m = J_m + w_m + C_m$$


$$w_m = B_m + \sum_{\forall j \in hp(m)} n_j \times C_j$$

- $R_m$  – odzivni čas telegrama  $m$
- $w_m$  – čakalni čas telegrama  $m$ , da pride na vrsto  
zaradi oddajanja telegramov z višjo prioriteto in ev. blokade
- $B_m$  – čas blokade telegrama z nižjo prioriteto
- $n_j$  – število oddaj telegrama s prioriteto  $j$  med čakanjem

# Časovna analiza CAN



$$w_m = B_m + \sum_{\forall j \in hp(m)} \overset{n_j}{\left\lceil \frac{w_m + J_j}{T_j} \right\rceil} \times C_j,$$

# Časovna analiza CAN

Iteracija:

$$w_m^{(k+1)} = B_m + \sum_{\forall j \in hp(m)} \left\lceil \frac{w_m^{(k)} + J_j}{T_j} \right\rceil \times C_j, \quad (k = 0, 1, 2, \dots),$$

pri čemer za začetni približek  $w_m^{(0)}$  vzamemo na primer nič.



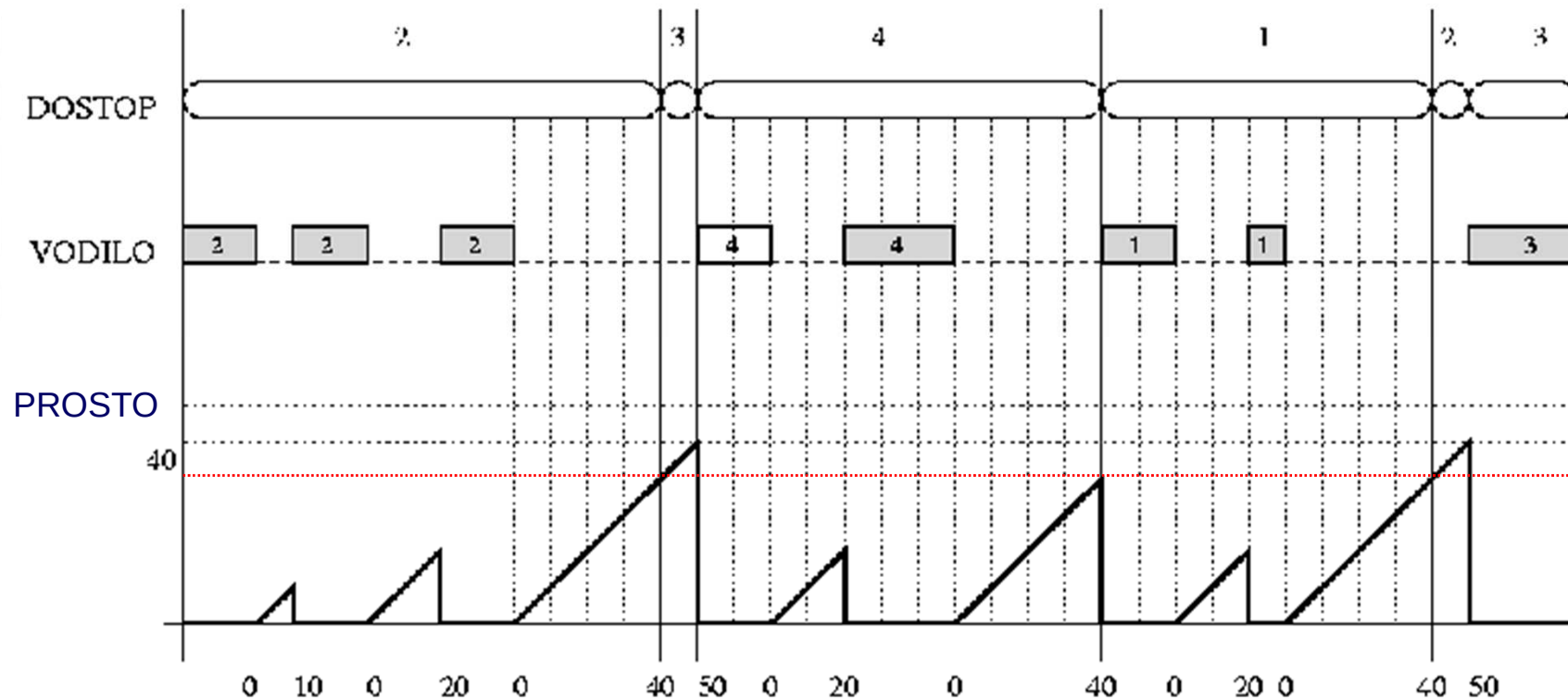
# TTCAN

- CAN predstavlja dobro rešitev za spontane – dogodkovno vodene komunikacije
- Večina prometa v sistemih avtomatike pa je periodične narave
- Nadgradnja CAN: TTCAN – Time Triggered CAN
- TTCAN omogoča oboje, periodičen in spontan način komuniciranja
- TTCAN deli čas na 'periodična okna'
- Sinhronizacija se vzpostavi z referenčnim telegramom
- Referenčni telegram oddaja eno od vozlišč.

# P-Net

- Razvoj danske industrije
  - Evropski (EN 50170 – 1.del) in del svetovnega (**IEC 61 158**) standarda
  - Topologija vodila, **RS 485**, do 32 nadrejenih postaj, 76.8 kb/s
  - Dostop do kanala: virtualni žeton
- 
- Virtualni žeton: dostop do kanala se ureja s časovnim nadzorom
  - Vsaka postaja ima enolično dodeljen naslov
  - Ko se naslovni števec izenači z njenim naslovom, to pomeni, da je dobila žeton

# P-Net

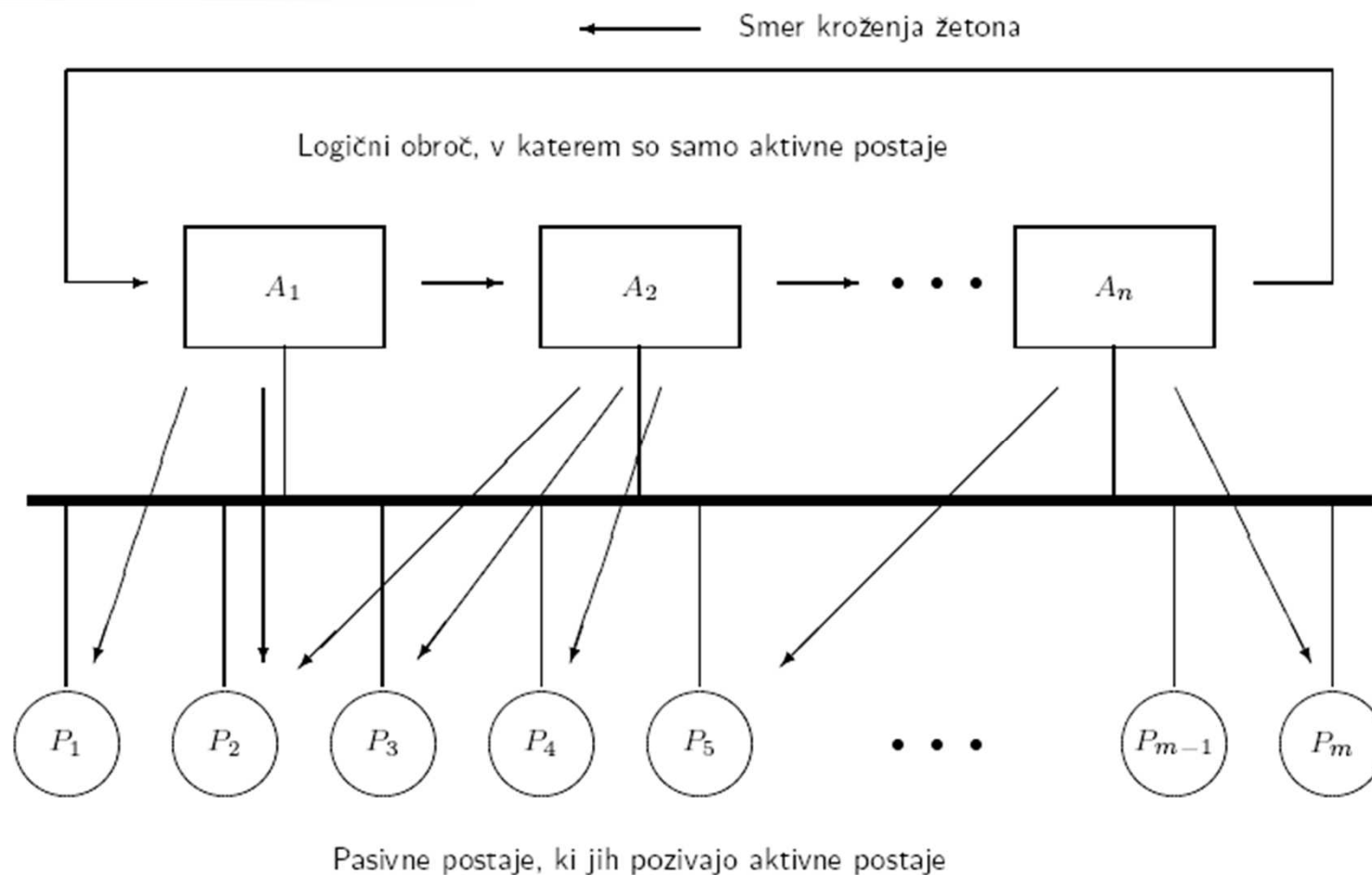


- PROSTO se resetira, ko nekdo zaseže vodilo
- PROSTO teče s taktom oddajanja, ko je vodilo prosto
- DOSTOP je naslovni števec, ki se poveča za ena po 40 taktih časovnika PROSTO, nato pa hitreje - na vsakih 10 taktov
- Ko se DOSTOP izenači z naslovom postaje, ta dobi žeton

# Profibus

- ❑ Razvoj nemške industrije (Siemens)
- ❑ Nemški **DIN 19 245**, del evropskega **EN 50 170** in mednarodnega standarda **IEC 61 158**
- ❑ Vodilo z žetonom v povezavi s pozivanjem
- ❑ Tri izvedbe **Profibus FMS, PA, DP**
- ❑ Profibus FMS je praktično izginil, prevladal je Profibus DP
- ❑ Definira 1., 2. In 7. sloj ISO OSI + 'profile'

# Profibus – dostop do medija

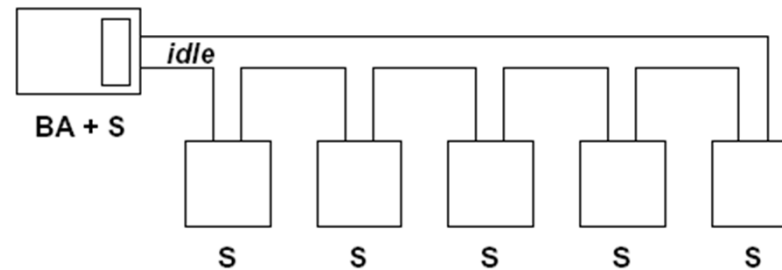


## Profibus – dostop do medija

- ☐ Dve vrsti okvirjev: višja in nižja prioriteta
- ☐ Ko postaja dobi žeton, lahko odda en okvir višje prioritete, okvirje z nižjo prioriteto pa samo, če ji čas dopušča
- ☐ Parameter omrežja je ciljni obhodni čas žetona TTRT
- ☐ Ko postaja odda žeton, nastavi števec RTRT na nič, ki nato teče
- ☐ Ko postaja ponovno dobi žeton, primerja dejanski obhodni čas žetona (RTRT) s ciljnim (TTRT)
- ☐ Če je  $RTRT > TTRT$  lahko odda samo okvir višje prioritete.

# W-FIP

- ❑ Razvoj francoske industrije
- ❑ Del evropskega standarda **EN 50 170**
- ❑ Del mednarodnega standarda **IEC 61 158**
- ❑ Topologija: vodilo
- ❑ Postaje:
  - ❑ Upravljalec vodila (arbiter)
  - ❑ Proizvajalec
  - ❑ Porabnik
- ❑ Dostop do vodila:
  - ❑ “dodeljevan žeton”



## W-FIP

- ☐ Dostop do vodila:

- ☐ Upošteva značilnosti industrijske informatike:

- ☐ Večina podatkov je periodične narave

- ☐ Osveževanje (odčitavanje/postavljanje) signalov

- ☐ Nekateri podatki so spontane (neperiodične) narave

- ☐ Pojavijo se spontano - nenapovedano

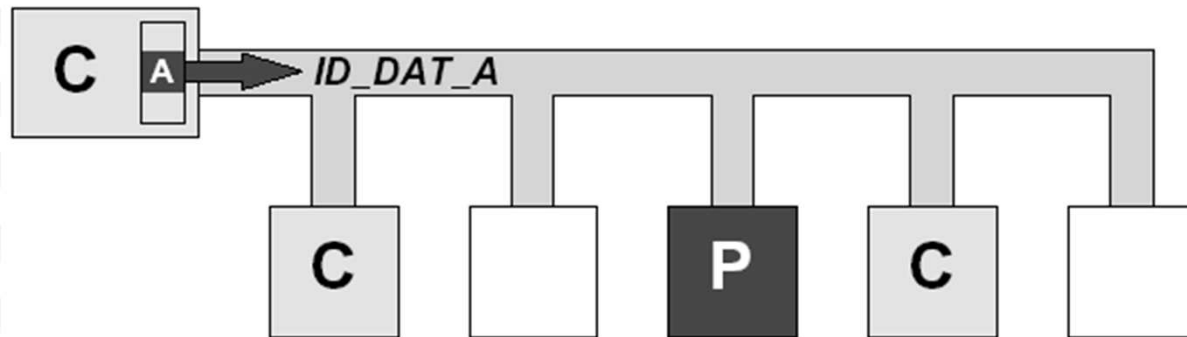
- ☐ Občasno je potrebno prenesti nekoliko večje količine podatkov:

- ☐ Parametriranje, konfiguriranje,...



## W-FIP

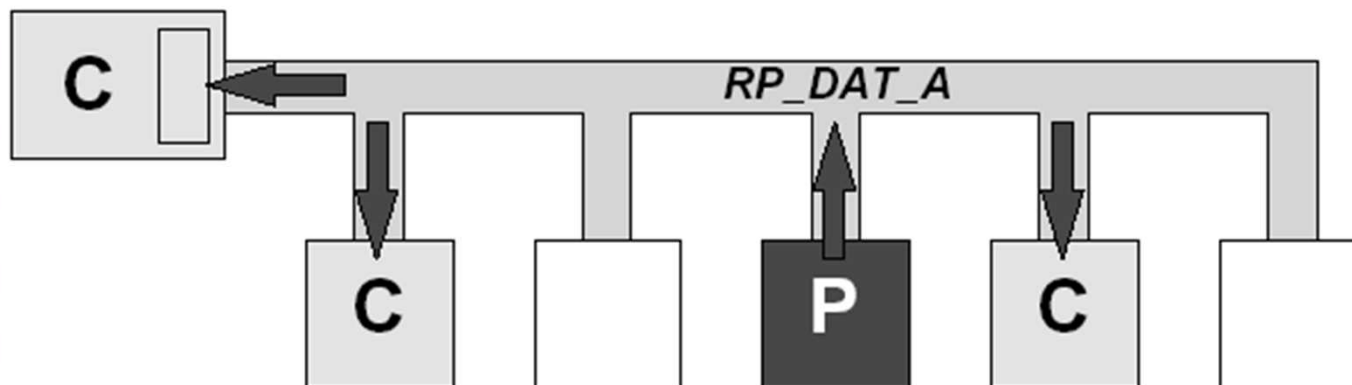
- ❑ Prenos periodičnih podatkov:
  - ❑ Arbiter krožno dodeljuje kanal



- ❑ Arbiter zahteva prenos spremenljivke "A"
- ❑ Ena od postaj se spozna kot proizvajalec "A"-ja
- ❑ Nekatere postaje se spoznajo kot porabniki "A"-ja

## W-FIP

- ❑ Proizvajalec (P) pošlje telegram s spremenljivko "A".
- ❑ Porabniki (C) sprejmejo telegram s spremenljivko "A".



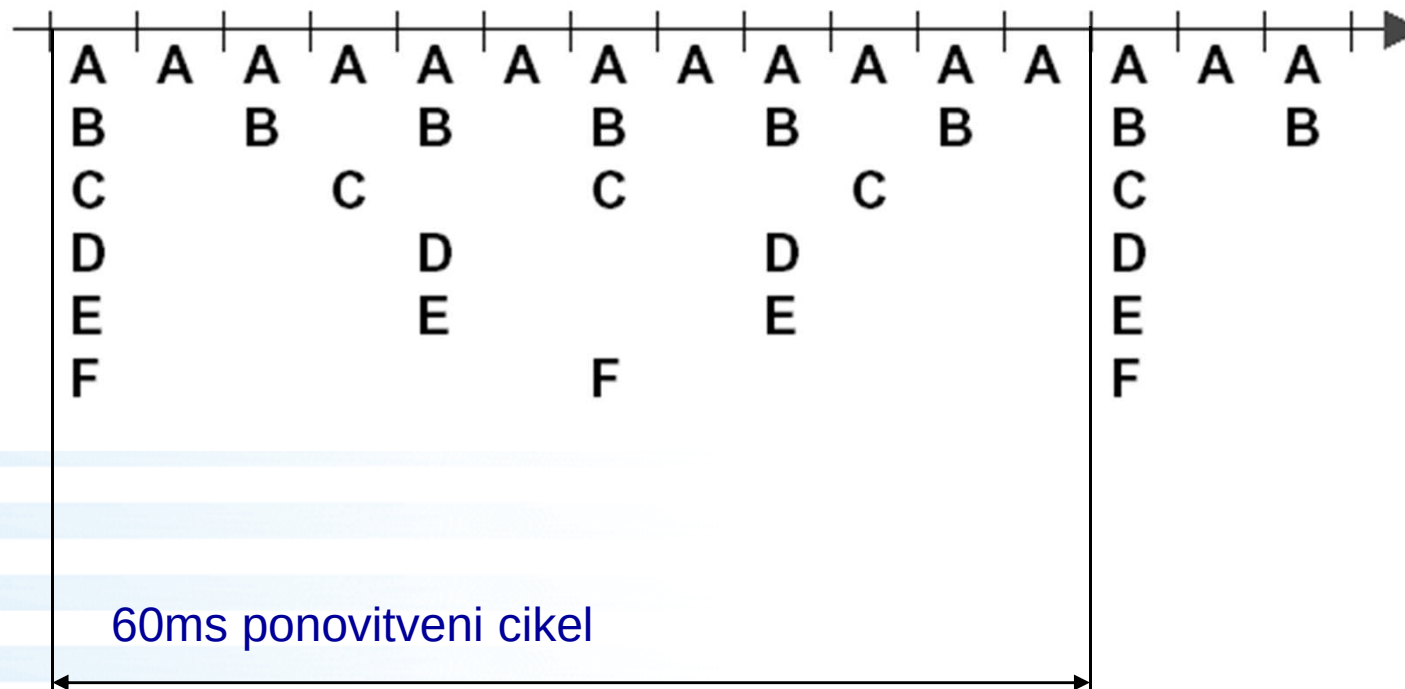
## W-FIP

- ❑ Arbiter pregleduje razvrstitveno tabelo (časovni razpored).
- ❑ V skladu s tabelo (periodičnostjo) dodeljuje kanal.

| Variable | Périodicity | Type    | Time ( $\mu$ s ) |
|----------|-------------|---------|------------------|
| A        | 5           | INT_8   | 170              |
| B        | 10          | INT_16  | 178              |
| C        | 15          | OSTR_32 | 418              |
| D        | 20          | SFPOINT | 194              |
| E        | 20          | UNS_32  | 194              |
| F        | 30          | VSTR_16 | 290              |

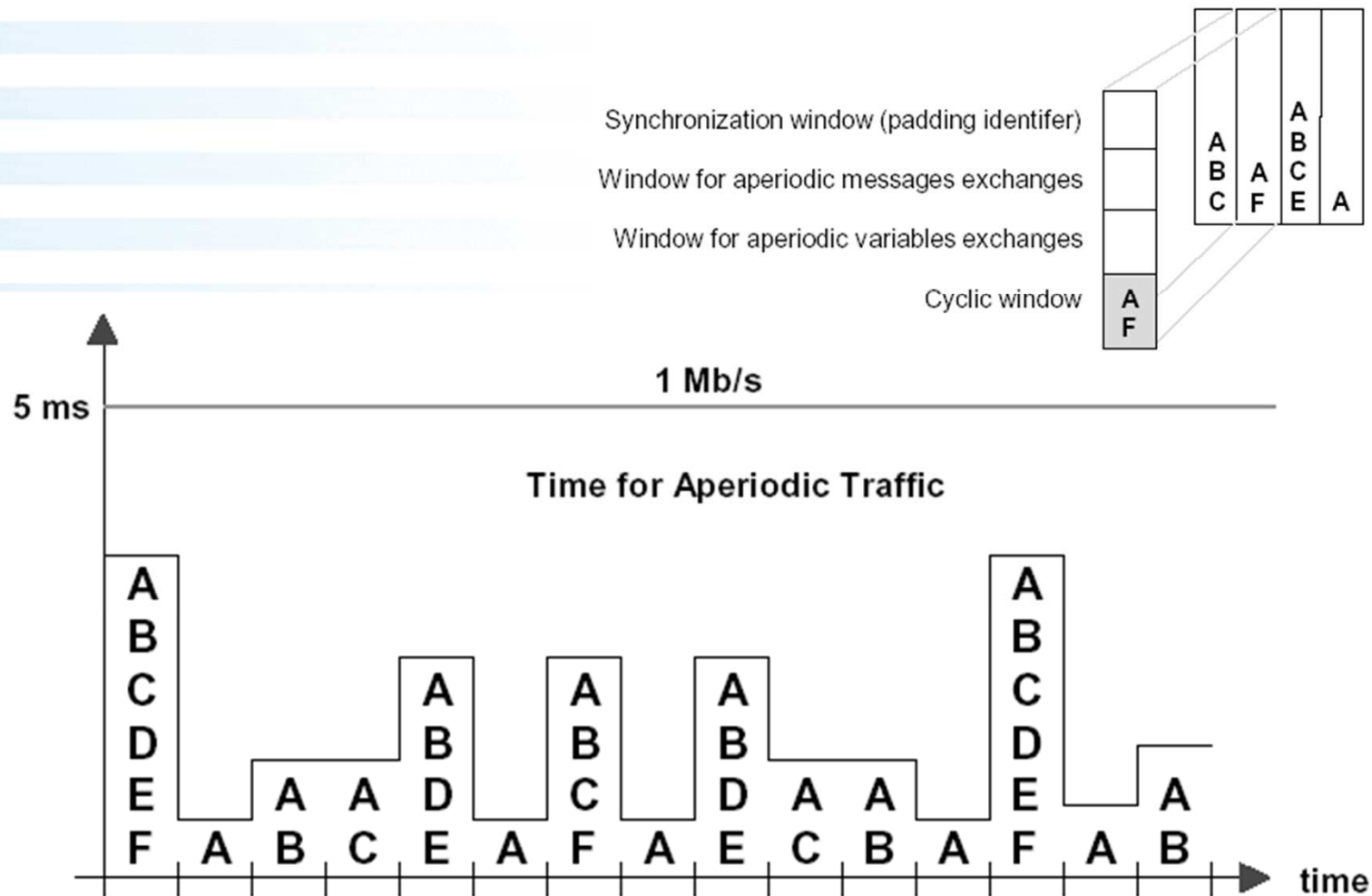
# W-FIP

5 ms (osnovni cikel)



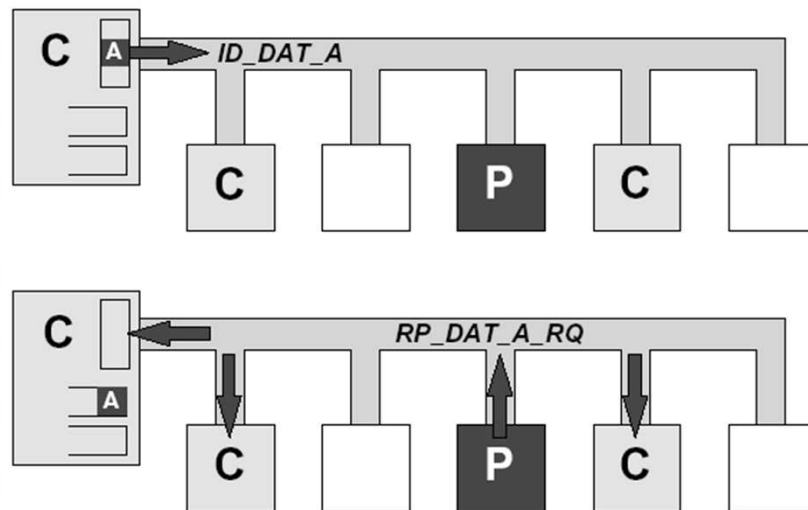
Ponovitveni cikel = (najmanjši skupni mnogokratnik)/(največji skupni delitelj)

# W-FIP



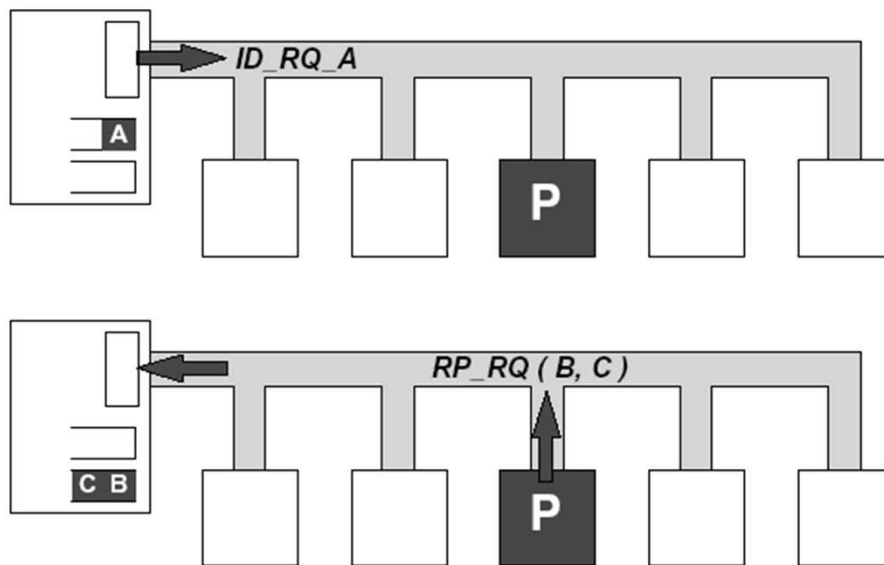
## W-FIP

- Prenos spontanih podatkov
  - V času prenosa periodičnih podatkov nekdo zahteva prenos neperiodičnih podatkov.



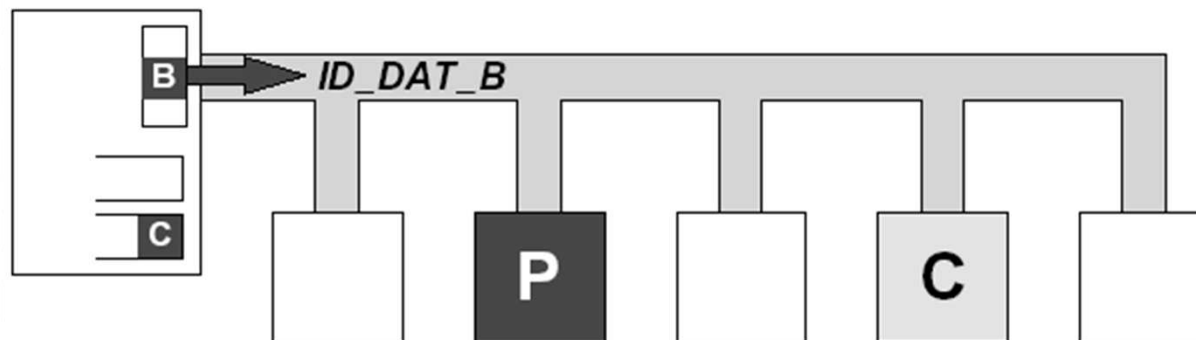
## W-FIP

- ❑ V neperiodičnem “oknu” arbiter pozove pobudika prenosa neperiodičnih podatkov.
- ❑ V neperiodičnem oknu pobudnik prenosa sporoči za katere neperiodične podatke gre.



## W-FIP

- ❑ V neperiodičnem “oknu” arbiter da možnost za prenos neperiodinih podatkov.
- ❑ Lastnik neperiodičnih podatkov odda podatke.



- ❑ Podobno poteka tudi prenos sporočil.



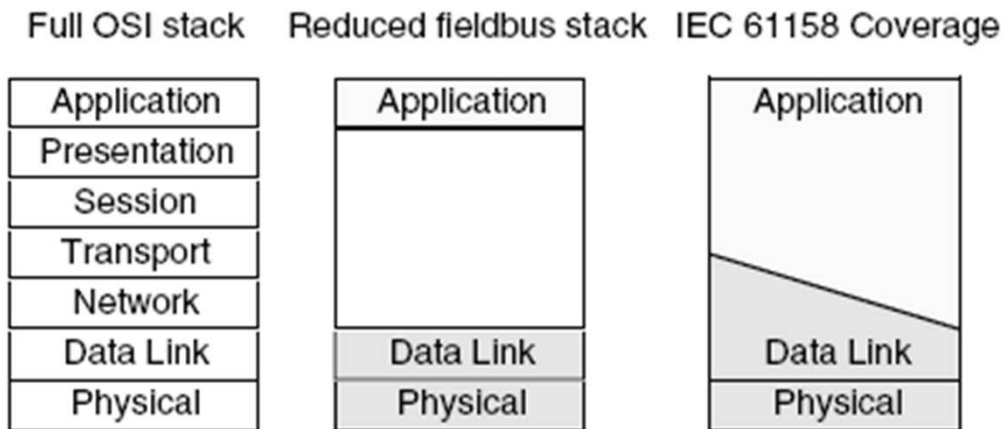
# IEC 61158

- Mednarodni standard
- Industrijska omrežna tehnologija za sisteme porazdeljenega vodenja v realnem času.

## Zgradba standarda:

- Part 1: Overview and guidance for the IEC 61158 series
- Part 2: Physical Layer specification and service definition
- Part 3: Data Link Service definition
- Part 4: Data Link Protocol specification
- Part 5: Application Layer Service definition
- Part 6: Application Layer Protocol specification

# IEC 61158



- Funkcionalnost 3. in 4. sloja (če je potrebna) se pridruži v 2. ali 7. sloj.
- Funkcionalnost 5. in 6. sloja se pridruži 7. sloju
- Funkcionalnost 3 - 5 slojev v teh sistemih ni izražena  
(to so manjša omrežja s končnimi vozlišči na enem segmentu)

(povzeto po [R. Zurawski: Industrial Communication Technology Handbook](#),  
CRC Press 2005, str. 180.)

# IEC 61158

**TABLE 7.3** Structure of the IEC 61158 Fieldbus for Industrial Control Systems

| Standards Part | Contents                        | Contents and Meaning         |
|----------------|---------------------------------|------------------------------|
| IEC 61158-1    | Introduction                    | Only technical report        |
| IEC 61158-2    | PhL: Physical Layer             | 8 types of data transmission |
| IEC 61158-3    | DLL: Data Link Layer Services   | 8 types                      |
| IEC 61158-4    | DLL: Data Link Layer Protocols  | 8 types                      |
| IEC 61158-5    | AL: Application Layer Services  | 10 types                     |
| IEC 61158-6    | AL: Application Layer Protocols | 10 types                     |
| IEC 61158-7    | Network Management              | Must be completely revised   |
| IEC 61158-8    | Conformance Testing             | Work has been canceled       |

- Struktura standarda

(povzeto po R. Zurawski: Industrial Communication Technology Handbook, CRC Press 2005, str. 180.)

# IEC 61158

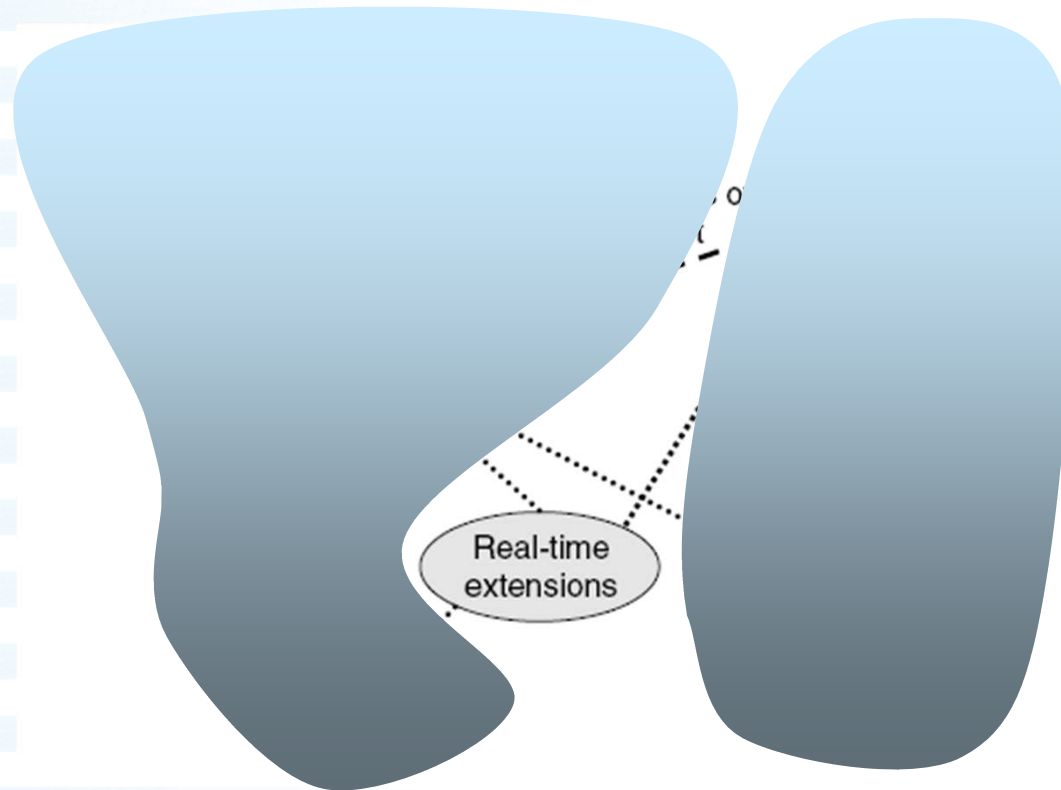
**TABLE 7.4** Profiles and Protocols according to IEC 61784-1 and IEC 61158

| IEC 61784<br>Profile | IEC 61158 Protocols |            |         | CENELEC Standard        | Brand Names                 |
|----------------------|---------------------|------------|---------|-------------------------|-----------------------------|
|                      | Phy                 | DLL        | AL      |                         |                             |
| CPF-1/1              | Type 1              | Type 1     | Type 9  | EN 50170-A1 (Apr. 2000) | Foundation Fieldbus (H1)    |
| CPF-1/2              | Ethernet            | TCP/UDP/IP | Type 5  | —                       | Foundation Fieldbus (HSE)   |
| CPF-1/3              | Type 1              | Type 1     | Type 9  | EN 50170-A1 (Apr. 2000) | Foundation Fieldbus (H2)    |
| CPF-2/1              | Type 2              | Type 2     | Type 2  | EN 50170-A3 (Aug. 2000) | ControlNet                  |
| CPF-2/2              | Ethernet            | TCP/UDP/IP | Type 2  | —                       | EtherNet/IP                 |
| CPF-3/1              | Type 3              | Type 3     | Type 3  | EN 50254-3 (Oct. 1998)  | Profibus-DP                 |
| CPF-3/2              | Type 1              | Type 3     | Type 3  | EN 50170-A2 (Oct. 1998) | Profibus-PA                 |
| CPF-3/3              | Ethernet            | TCP/UDP/IP | Type 10 | —                       | PROFInet                    |
| CPF-4/1              | Type 4              | Type 4     | Type 4  | EN 50170-1 (July 1996)  | P-Net RS-485                |
| CPF-4/2              | Type 4              | Type 4     | Type 4  | EN 50170-1 (July 1996)  | P-Net RS-232                |
| CPF-5/1              | Type 1              | Type 7     | Type 7  | EN 50170-3 (July 1996)  | WorldFIP (MPS, MCS)         |
| CPF-5/2              | Type 1              | Type 7     | Type 7  | EN 50170-3 (July 1996)  | WorldFIP (MPS, MCS, SubMMS) |
| CPF-5/3              | Type 1              | Type 7     | Type 7  | EN 50170-3 (July 1996)  | WorldFIP (MPS)              |
| CPF-6/1              | Type 8              | Type 8     | Type 8  | EN 50254-2 (Oct. 1998)  | Interbus                    |
| CPF-6/2              | Type 8              | Type 8     | Type 8  | EN 50254-2 (Oct. 1998)  | Interbus TCP/IP             |
| CPF-6/3              | Type 8              | Type 8     | Type 8  | EN 50254-2 (Oct. 1998)  | Interbus subset             |
| CPF-7/1              | Type 6              | Type 6     | —       | —                       | Swiftnet transport          |
| CPF-7/2              | Type 6              | Type 6     | Type 6  | —                       | Swiftnet full stack         |

- Standard je nastajal več kot desetletje

(povzeto po R. Zurawski: Industrial Communication Technology Handbook, CRC Press 2005, str. 180.)

# Ethernet ter Internet v industriji



(povzeto po R. Zurawski: Industrial Communication Technology Handbook, CRC Press 2005, str. 180.)

# Profinet, Ethernet v industriji

Profinet: TCP/IP in Ethernet

Kategorija 1: odzivni čas reda 100ms

Kategorija 2: odzivni čas reda 10 ms

Kategorija 3: odzivni čas reda 1 ms