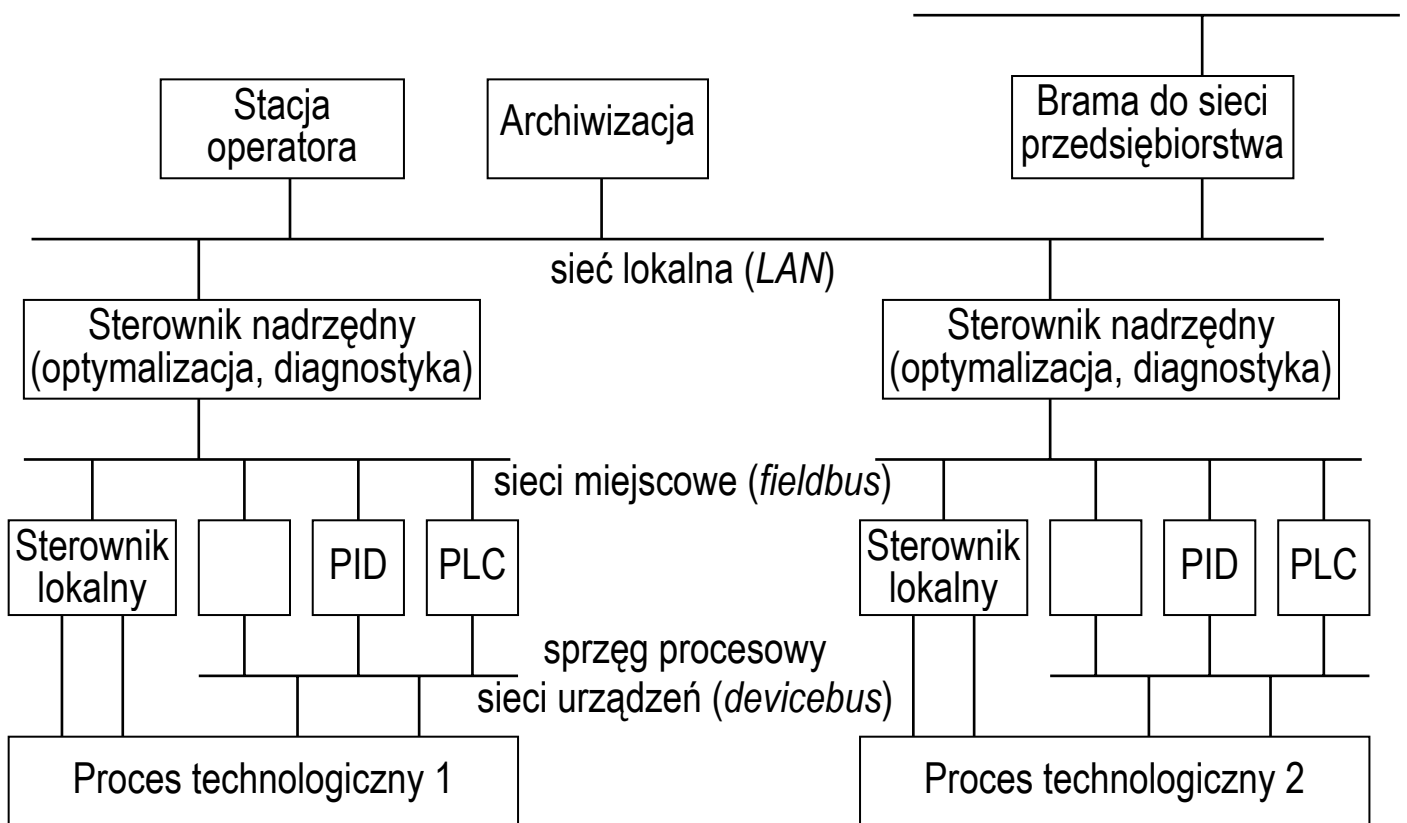


## Sieci przemysłowe

Funkcjonalna struktura systemu sterowania i zarządzania:

- warstwa sterowania
- warstwa nadrzędna
- warstwa zarządzanie produkcją
- planowanie i zarządzanie przedsiębiorstwem



## **Indywidualne sygnały procesowe**

- Analogowe
  - 4 – 20mA (0 – 20mA)
  - 0 – 10V
  - termopary, termometry rezystancyjne
- Dwustanowe
  - 0 – 24V / 0,5A
  - styk
  - 0 – 5V (pomocnicze)
- Problemy
  - możliwość zakłócenia
  - wielka liczba kabli

## **Sieci urządzeń**

- inteligentne czujniki i elementy wykonawcze
- rozproszone układy we/wyjscie sterowników PLC

### Warunki pracy

- bardzo krótkie komunikaty (bajty)
- ostre ograniczenia czasowe (milisekundy)
- duża powtarzalność
- nieskomplikowany interfejs

## **Sieci miejscowe**

- sterowniki lokalne (regulatory, sterowniki PLC)
- inteligentne czujniki i elementy wykonawcze

### Warunki pracy

- krótkie komunikaty (dziesiątki lub setki bajtów)
- ostre ograniczenia czasowe (dziesiątki milisekund)
- duża powtarzalność
- możliwość dołączenia prostych urządzeń

## **Sieci lokalne**

- sterowniki nadrzędne i komputery

### Warunki pracy

- długie komunikaty (raporty, dokumenty, pliki)
- brak ograniczeń czasowych (przepustowość)
- duża zmienność obciążenia
- tylko urządzenia komputerowe

## **Sieci przemysłowe a model ISO**

- Warstwa fizyczna
  - często RS 485 (skrętka, kilkaset Kb/s ... 12Mb/s)
  - światłowód (zakłócenia, odległość)
  - inne (sieci energetyczne, radiowe)
- Warstwa liniowa (2)
  - dostęp do kabla
  - łącza logicznego
- Warstwa aplikacyjna (7)
  - podzbiór usług MMS: ISO/IEC 9506
- Brak warstw pośrednich

## Protokoły dostępu do kabla

- **CSMA/CD** — kolizyjny
  - obserwacja stanu → nadawanie gdy wolny
  - obserwacja stanu → wykrycie kolizji → zaprzestanie
  - losowa zwłoka → ponowna próba

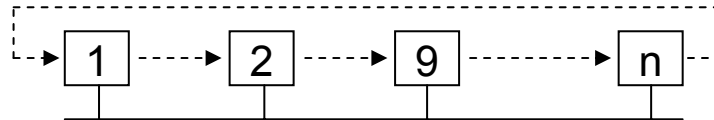
### Właściwości

- węzły równoprawne
  - niedeterministyczny czas przekazu
  - długość komunikatu ograniczona od dołu
  - wysoka średnia przepustowość
- **CSMA/CD priorytetowy** — kolizyjny z arbitrażem
    - obserwacja stanu → nadawanie gdy wolny
    - obserwacja stanu → wykrycie kolizji → arbitraż

### Właściwości

- węzły równoprawne, różnicowane priorytetami
- deterministyczny czas przekazu
- wysoka średnia przepustowość

- **Znacznikowy** — bezkolizyjny
  - prawo nadawania ma zawsze tylko jeden węzeł sieci
  - otrzymanie znacznika → nadawanie
  - przekazanie znacznika następnemu



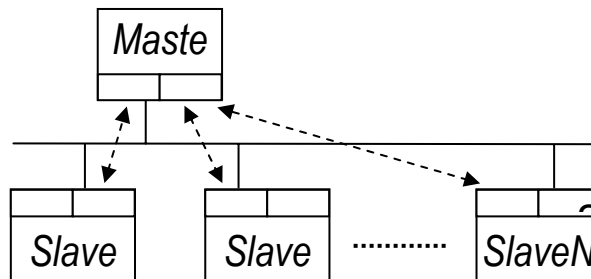
### Właściwości

- węzły równoprawne
- ograniczony czas nadawania
- deterministyczny czas przekazu
- narzut na przekazywanie znacznika

### Sytuacje wyjątkowe

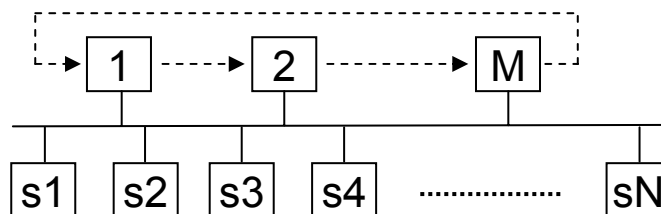
- rozmnożenie znacznika
- utrata znacznika
- dołączanie nowych węzłów

- **Odpytywanie** — bezkolizyjny, zcentralizowany
  - węzeł centralny zarządza ruchem w sieci
  - transakcje: zapytanie → odpowiedź

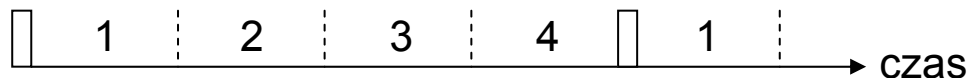


### Właściwości

- węzły nierównoprawne (*master – slave*)
- deterministyczny czas przekazu
- narzut na „puste” zapytania
- brak bezpośredniej komunikacji węzłów *slave*
- bardzo prosty protokół odpowiedzi
- niesprzeczny z protokołem znacznikowym



- **TDMA** — bezkolizyjny z podziałem czasu
  - stałe szczeliny czasowe dla wszystkich węzłów
  - nadawanie w swojej szczelinie



### Właściwości

- istnieje węzeł wyróżniony
- pełny determinizm komunikacji
- łatwość wykrycia awarii węzła
- ograniczony rozmiar sieci
- prosty protokół dostępu
- niesprecyzowana przepustowość



## Przykłady

- **Udział w rynku** (*Automation Research Corporation, 1997*)

InterBus-S — 37,4%

LONWorks — 34,4%

Profibus — 18,3%

.....  
CAN — 4,5%

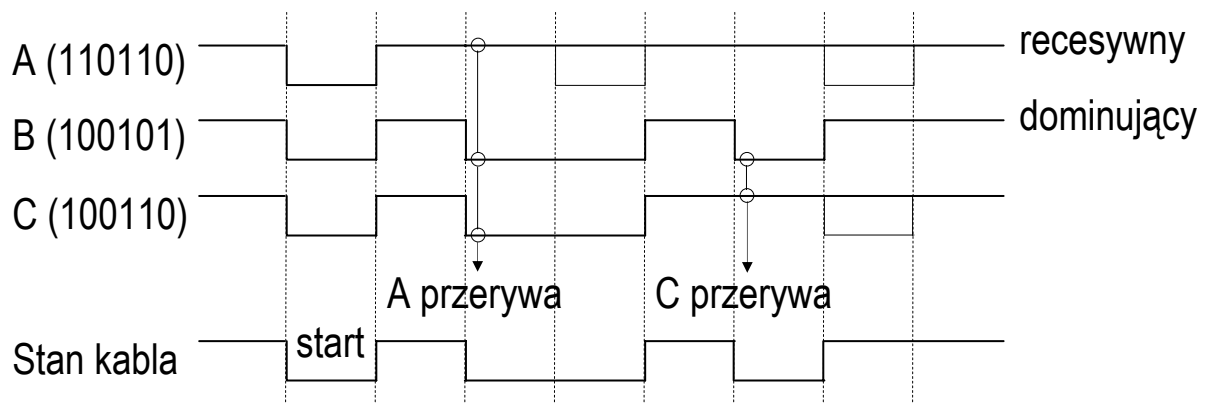
.....  
Industrial Ethernet

- **Charakterystyka**

	InterBus-S	LONWorks	Profibus	Profibus DP	CAN
Twórca	Phoenix Contact (D)	Echelon Corp (USA)	Bosch, Siemens, Klockner-Moeller (D)		Bosch, Allen-Bradley
Kategoria	Devicebus	Devicebus	Fieldbus	Devicebus	Devicebus
Kabel	Skrętka, światłowód	różne	Skrętka, światłowód	Skrętka, światłowód	Skrętka
Długość (skrętka)	12,8 km (500 Kb/s)	2200 m (78 Kb/s)	1200 m (×8) (93,75 Kb/s)	1200 m (×8) (93,75 Kb/s)	1000 m (50 Kb/s)
Szybkość	500 Kb/s (400m)	1,25 Mb/s	1,5 Mb/s (200m)	12 Mb/s (100m)	1 Mb/s (40m)
Rozmiar	256	32 385	127 / 16 383	127	64
Dostęp do kabla	<i>odpytywanie</i>	CSMA/CD predykcyjny	znacznikowy, odpytywanie	<i>odpytywanie</i>	CSMA/CD priorytetowy
Realizacja 2	chip	chip	chip	chip	chip
Warstwa 7	PMS	LonTalk (7)	FMS	DDLML	różne

## Sieć CAN (Controller Area Network)

- **Warstwa fizyczna**
  - ISO 11898
  - magistrala
  - 5 linii (2+zasilanie+ekran)
  - dwa stany: recesywny i dominujący
  - wstawianie bitu przeciwnego
- **Podwarstwa MAC**
  - ISO 11898
  - arbitraż CSMA/CD NDBA



- komunikaty rozgłoszeniowe
- identyfikacja zmiennych

- **Podwarstwa LLC**

- typy ramek

danych / żądania danych

s	id (12)	st (5)	dane (8b)	crc (16)	ack (2)	eof (7)
---	---------	--------	-----------	----------	---------	---------

błędu (odbiorca)

przeciążenia

- kontrola błędów (bity, wstawianie, crc, ack)

jeśli przekłamanie występuje co 1 s,

a sieć pracuje 8 godz. dziennie →

nie wykryty błąd wystąpi co 1500 lat.

- protokół bezpołączeniowy

- **Warstwa 7**

- CAL / CANOpen (CAN in Automation)

- SDS (Honeyvell)

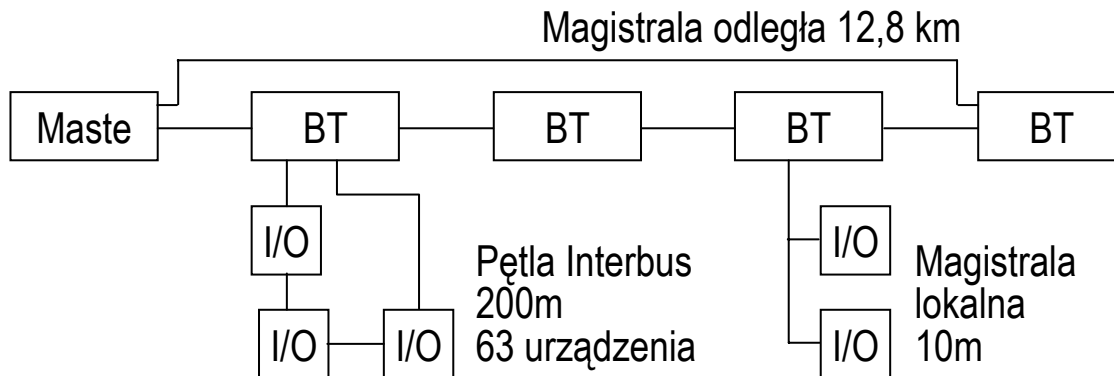
- Devicenet (Rockwell i Allen-Bradley)

- CAN-Kingdom (Kvaser)

## Sieć Interbus-S

– DIN 19258, EN 50254

### • Architektura sieci

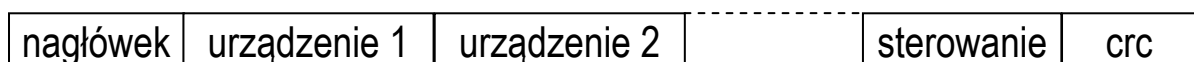


### • Warstwa fizyczna

- magistrala odległa
  - topologia pierścieniowa ze wzmacniaczami
  - liczba segmentów  $\leq 256$
  - długość segmentu  $\leq 400\text{m}$
  - standard elektryczny RS 485
  - 7 linii ( $3 \times 2 + \text{ekran}$ )
- magistrala lokalna
- pętla

### • Warstwa liniowa

- protokół odpytywania
- stała długość ramki, ze stałym polem każdego urządzenia



- co najwyżej 512 urządzeń
- co najwyżej 4096 punktów I/O (słowa 16-bitowe)

## Sieć LonWorks

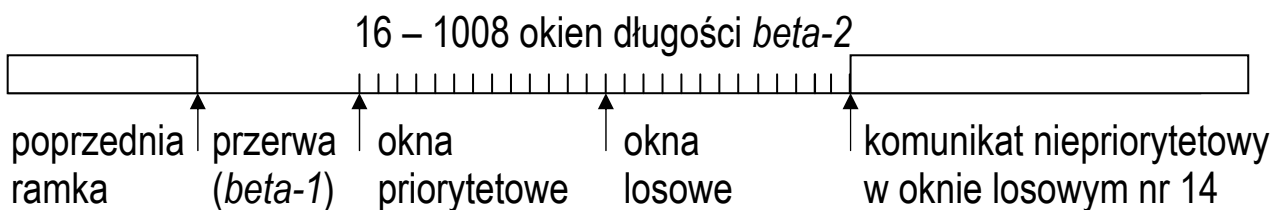
- ANSI/EIA 709.1
- pełny 7-warstwowy model ISO (chip *Neuron*)
- może objąć cały system sterowania i zarządzania
- także *LonWorks over IP*

### • Warstwa fizyczna

- brak specyfikacji, możliwe różne media
  - skrętka – 78 Kb/s (dowolna topologia)
  - skrętka – 1250 Kb/s (magistrala RS 485)
  - linia energetyczna – 5,4 Kb/s
  - światłowód, łącze radiowe, podczerwone

### • Warstwa liniowa

- arbitraż CSMA/CD priorytetowy, predykcyjny



- determinizm tylko dla ustalonego zbioru komunikatów

- **Warstwa sieciowa**
  - adres fizyczny 48 bitów (chip)
  - adres logiczny: domena × podsieć × urządzenie
    - nr domeny 0 – 6 bajtów
    - nr podsieci 1 bajt (max 255)
    - nr urządzenia 1 bajt (max 127)
  - adres grupy (max 255 grup)
  
- **Warstwa transportowa**
  - zapewnia niezawodną komunikację
  - typy pakietów
    - niepotwierdzany
    - potwierdzany z retransmisjami
    - niepotwierdzany z retransmisjami
  
- **Warstwa sesji**
  - realizacja zapytań – odpowiedzi
  - uwierzytelnianie (opcja)
    - komunikat → pytanie → szyfrowana odpowiedź
    - 48-bitowy klucz szyfrowania

- **Warstwa prezentacji**

- obiekty sieciowe
  - wiadomość (dowolne  $\leq 228$  bajtów)
  - zmienna sieciowa (ustalone typy, 1 – 31 bajtów)
- konfiguracja sieci
  - powiązanie zmiennych wejściowych z wyjściowymi
- usługi
  - nadawanie zmiennej wyjściowej po każdej zmianie
  - nadawanie zmiennej wyjściowej na żądanie
  - aktualizacja zmiennej wejściowej każdą nową wartością
  - aktualizacja zmiennej wejściowej na żądanie

- **Warstwa aplikacyjna**

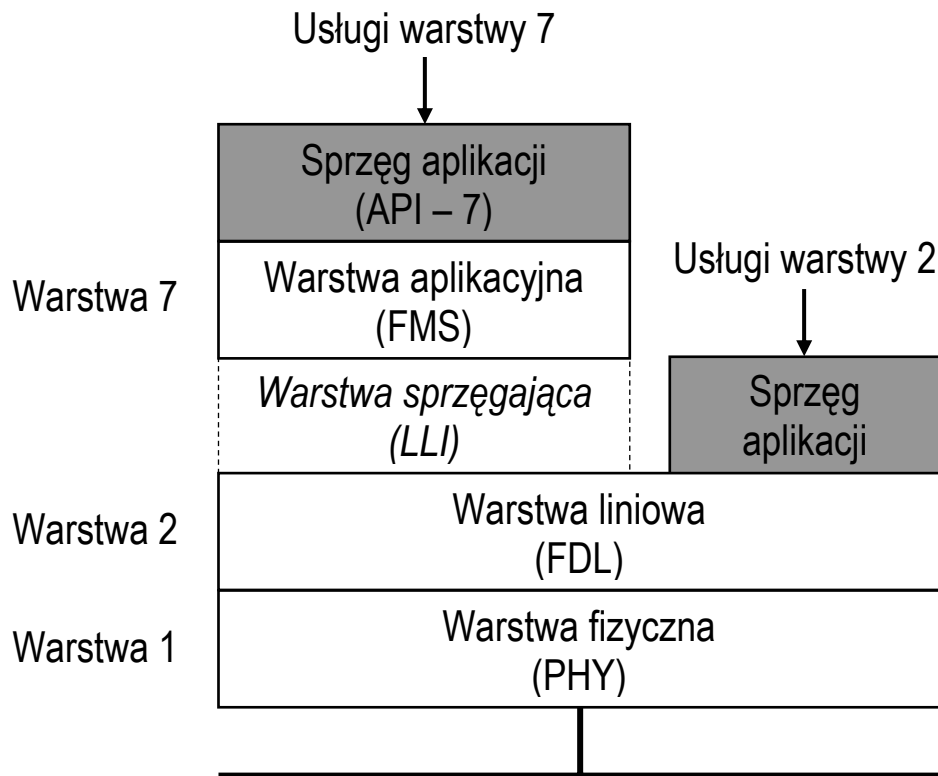
- definiuje zmienne sieciowe opisujące konkretne pomiary
- definiuje parametry konfiguracji konkretnych urządzeń
- definiuje obiekty reprezentujące urządzenia
  - zespół zmiennych wejściowych i wyjściowych
  - parametry konfiguracyjne
  - stan początkowy
  - dopuszczalne zakresy zmienności
  - sposób transmisji
- protokół transferu plików

- **Architektura systemu**

- cały system sterujący odpowiada domenie
- sterowniki nadrzędne wyznaczają podsieci (są routerami)

## Sieć PROFIBUS

- DIN 19245, EN 50 170
- warstwowy model sieci



- Istnieje też PROFINET
  - usługi PROFIBUS poprzez Ethernet i Tcp/Ip
  - dostęp do urządzeń obiektowych przez przeglądarkę



## Warstwa fizyczna

- **Topologia**

- magistralowa (liniowy segment kabla)
- łączenie segmentów (max 7 powtarzaczy)
- liczba węzłów 127 / 16 383

- **Rodzaj kabla**

- skrętka (RS 485)

Szybkość	9,6 K	19,2 K	93,75 K	187,5K	500 K	1,5 M	12 M
Długość	1200m	1200m	1200m	1200m	400m	200m	100m
Powtarzacze	7	7	7	7	7	4	4
Rozmiar	32 /128						

- światłowód

Typ	wielomodowy	jednomodowy
Odległość	2 –3 km	15 km

- **Usługi**

- nadawanie / odbieranie bitów

## Warstwa liniowa — MAC

- adresowanie węzłów 0...126
- węzły aktywne (*master*) i bierne (*slave*)
- *master*: przekazywanie znacznika
- *slave*: odpytywanie
- komunikaty o niskim i wysokim priorytecie
  
- **Operacje** węzła aktywnego (*master*)
  - wysłanie komunikatu  $m - m$
  - wysłanie komunikatu odpytania  $m - s$
  
- **Protokół** przekazywania znacznika
  - parametry czasowe
    - $T_{TR}$  — zadana długość cyklu obiegu znacznika
    - $T_{RR}$  — zmierzona długość cyklu obiegu znacznika
    - $T_{TH} = T_{TR} - T_{RR}$  — przedział nadawania
  - akcja węzła po otrzymaniu znacznika
    - wysłanie komunikatu wysokiego priorytetu
    - dalsze operacje w ramach czasu  $T_{TH}$

- Szacowanie obciążenia sieci

$$T_{TR} = n \times (T_{TC} + T_{MCh}) + k \times T_{MCl} + m \times T_{MCr}$$

$n$  — liczba węzłów aktywnych

$k$  — liczba transakcji niskiego priorytetu

$m$  — średnia liczba powtórzeń

$T_{TC}$  — czas przekazania znacznika

$T_{MC}$  — przeciętny czas wykonania operacji

$h$  wysokiego priorytetu

$l$  niskiego priorytetowej

$h$  retransmisji

– zalecany cykl  $T_{TR} = 200\text{ms}$  (dla 500 Kb/s)

– odpytanie niezależne od cyklu obiegu znacznika

## Warstwa liniowa — LLC

- znak: 11 bitów (start, stop, parzystość)
- typy ramek (1...255 bajtów)  
danych o zmiennej lub stałej długości

SD	len	lenR	SD	da	sa	ctrl	dane (len)	crc (4)	ED
----	-----	------	----	----	----	------	------------	---------	----

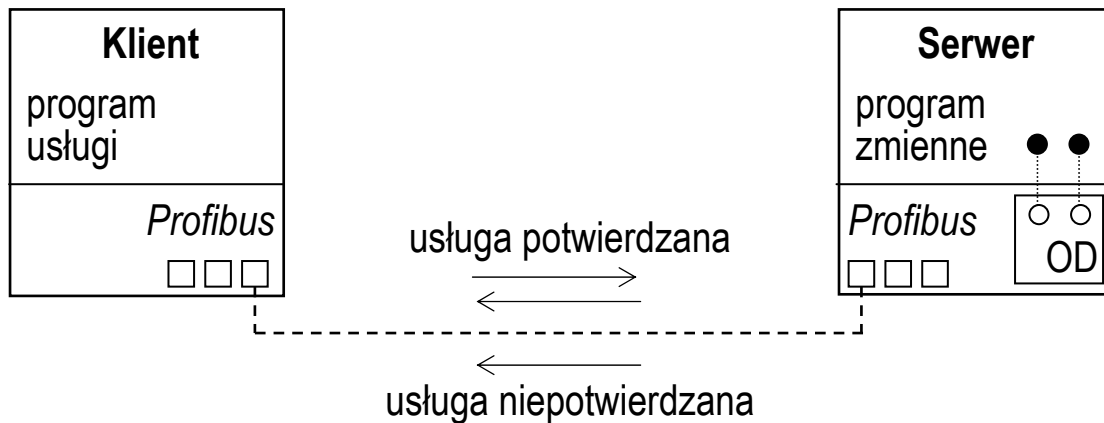
sterujące: potwierdzenie, znacznik, polecenie

- adresowanie portów: 0...62
  - kontrola błędów (bity, crc, ack):
  - protokół bezpołączeniowy
- **Usługi warstwy LLC**
    - SDN: wysłanie danych bez potwierdzenia ( $m - m$ )
    - SDA: wysłanie danych z potwierdzeniem ( $m - m$ )
    - SRD: wysłanie danych i żądanie danych ( $m - s$ )
    - CSRD: cykliczne wysyłanie i żądanie danych ( $m - s$ )  
port odpytywania  
lista odpytywania

węzły mogą się powtarzać na liście

## Warstwa aplikacyjna

- Specyfikacja FMS (*Fieldbus Message Specification*)
- **Model komunikacji klient-serwer**
  - relacje komunikacyjne
  - klient (*master*) wywołuje usługi
  - serwer (*slave*) udostępnia obiekty
  - słownik OD



- **Konfiguracja węzła**
  - definiowanie relacji
  - budowa słownika
  - wywołanie usług

## **Relacje komunikacyjne**

- niecykliczne: MSAC, MSAC\_SI, MMAC
- cykliczne: MSCY, MSCY\_SI
- rozgłoszeniowe: BRCT, MULT

### ● **Połączenie MS**

- start odpytywania (CSRD)
- uzgodnienie kontekstu
- kontynuacja odpytywania
- zatrzymanie odpytywania
- dalsze usługi

### ● **Połączenie MM**

- uzgodnienie kontekstu (SDA – SDA)
- dalsze usługi

### ● **Relacje bezpołączeniowe MM**

- rozgłoszenie (SDN)

## Obiekty

- zmienna
- typ danych
- domena
- program
- zdarzenie

### • Typy standardowe

Indeks	Nazwa		Indeks	Nazwa
1	Boolean		8	Floating Point
2	Integer8		9	Visible String
3	Integer16		10	Octet String
4	Intege32		11	Date
5	Unsigned8		12	Time of Day
6	Unsigned16		13	Time Difference
7	Unsigned32		14	Bit String

### • Typy złożone

- wektor
- rekord

### • Opis obiektu

Indeks	Rodzaj	Typ	Adres	.....
20	zmienna	3	23000000	
21	zmienna	10	23000002	16
22	tablica	8	23000018	5
23	rekord	16	23000038	

## Usługi

- zdefiniowane: 40 usług
- obowiązkowe: 2 (klient) oraz 6 (serwer)

### • Administracyjne

- połączenie: Initiate, Abort, Reject (nie)
- identyfikacja: Identify, Status UnsolicitedStatus (nie)
- obsługa OD: GetOD InitiatePutOD, PutOD, TerminatePutOD

### • Przekazywanie danych

- odczyt: Read, PhysRead
- zapis: Write, PhysWrite
- informacja: InformationReport (nie)

### • Obsługa zdarzeń

- zgłoszenie: EventNotification (nie)
- potwierdzenie: AcknowledgeEventNotification
- maskowanie: AlterEventConditionMonitoring



- **Obsługa domen**

- zapis pamięci: RequestDomainDownload (nie)  
InitiateDownloadSequence  
DownloadSegment  
TerminateDownloadSequence
- odczyt pamięci: RequestDomainUpload (nie)  
InitiateUploadSequence  
UploadSegment  
TerminateUploadSequence

- **Obsługa programów**

- utworzenie: CreateProgramInvocation  
DeleteProgramInvocation
- wykonanie: Start, Kill
- zawieszenie: Stop, Resume, Reset

## Wykonanie usług

- **Operacje elementarne**

request — wywołanie (klient)  
indication — odbiór wywołania (serwer)  
response — odpowiedź (serwer)  
confirm — odbiór odpowiedzi (klient)

request	→	indication	usługa potwierdzana
confirm	←	response	
indication	←	request	usługa niepotwierdzana

- **Relacje cykliczne**

- tylko: Initiate, Read, Write  
usługi niepotwierdzone
- usługa Read (pierwsze wywołanie):
  - start odpytywania
  - zapytanie o wartość  
zapisanie zapytania w buforze
  - ← wysłanie wartości  
zapisanie wartości w buforze
  - ← kontynuacja wysyłania
- usługa Read (kolejne wywołanie):
  - przekazanie wartości z bufora

*Sieciowa implementacja zmiennych wspólnych*

- **Relacje niecykliczne**

- wszystkie usługi
- usługa Read (każde wywołanie):
  - start odpytywania
  - zapytanie o wartość
  - ← wysłanie wartości
  - zatrzymanie odpytywania
- równoległe wykonanie usług

*Komunikacja przez wiadomości*

## Profibus QNX API

- **Sprzęg sieciowy**

- FDL: mikroprogram sterownika (*chip*)
- FMS: proces QNX
- API: biblioteka funkcji
- FMA: program konfiguratora

- **Realizacja usług**

- klient:
  - request — funkcja (spotkanie z procesem FMS)
  - confirm — test zmiennej wspólnej
- serwer *(variant 1)*
  - niejawne sięgnięcie do zmiennych przez proces FMS
- serwer *(variant 2)*
  - indication — wywołanie funkcji przez proces FMS
  - response — wywołanie funkcji przez proces użytkownika

- **Zakres usług**

<b>Usługa</b>	<b>Klient</b>	<b>Serwer</b>
Initiate	InitiateReq( )	niejawnie
Abort	AbortReq( )	niejawnie
Reject	niejawnie	niejawnie
Identify	IdentifyReq( )	niejawnie
Status	StatusReq( )	niejawnie
GetOD	GetOvReq( )	niejawnie
Read	ReadReq( )	read_ind( )
Write	Write Req( )	write_ind( )
PhysRead	PhysRead Req( )	niejawnie
PhysWrite	PhysWrite Req( )	niejawnie
InformationReport	InformationReport	niejawnie
EventNotification	EventNotification Req( )	niejawnie
AcknowledgeEventNotification	AcknowledgeEvent Req( )	niejawnie
AlterEventConditionMonitoring	AlterEventCondMonitReq( )	niejawnie

```
struct JOB *InitiateReq ( BYTE_T cref )
```

```
void AbortReq ( BYTE_T cref )
```

```
struct JOB *ReadReq ( BYTE_T cref , WORD_T index ,  
                    BYTE_T sub , WORD_T data_h )
```

- **Konfigurowanie relacji komunikacyjnej**

- pa, lsap, dsap           asocjacja sieciowa
- type                    typ relacji
- mpsh, mpsl           bufory nadawania
- mprh, mprl           bufory odbioru
- msc, msac            wywołania usług
- mrcc, mrac           wykonania usług
- f1 f2 f3               usługi wywoływane
- f4 f5 f6               usługi wykonywane
- ci                      okres kontroli połączenia

- **Budowanie słownika obiektów**

BYTE\_T SetOvSimpleVariable ( WORD\_T index , WORD\_T typ ,  
                                  BYTE\_T length, WORD\_T access ,  
                                  WORD\_T addr, BYTE\_T passwd ,  
                                  BYTE\_T group )