

DCS

ROZPROSZONE SYSTEMY AUTOMATYKI

WYKŁAD 7

Adam Ratajczak

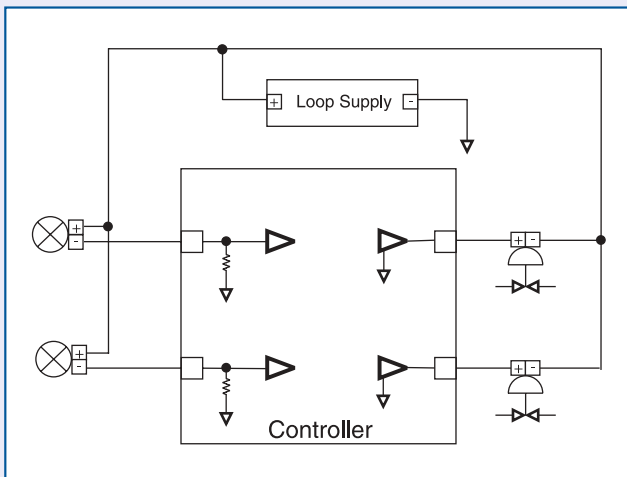
Pracownia Automatyki, Modelowania i Mechatroniki
Katedra Automatyki, Mechatroniki i Systemów Sterowania
Wydział Elektroniki
Politechnika Wrocławska

Copyright © 2022 Adam Ratajczak¹

¹Niniejszy dokument zawiera materiały do wykładu z przedmiotu Rozproszone Systemy Automatyki. Jest on udostępniony pod warunkiem wykorzystania wyłącznie do własnych, prywatnych potrzeb i może być kopiowany wyłącznie w całości, razem ze stroną tytułową.

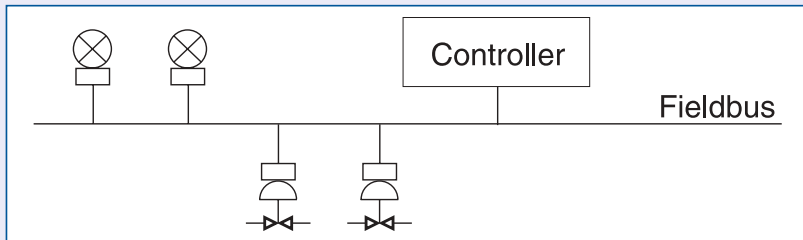
WSTĘP

SCENTRALIZOWANY UKŁAD STEROWANIA



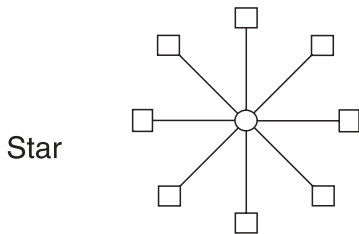
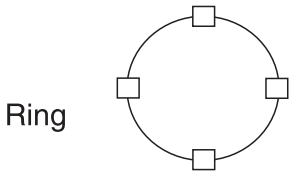
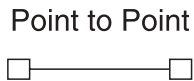
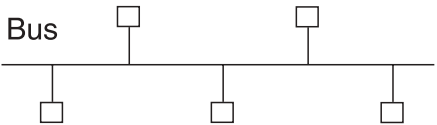
WSTĘP

KONCEPCJA SIECI „FIELDBUS”



WSTĘP

TOPOLOGIE SIECI



WSTĘP

REQUEST PACKET INTERVAL (RPI)

Czas pomiędzy kolejnymi pakietami wysyłanymi pomiędzy sterownikiem a kasetą wejść/wyjść rozproszonych.

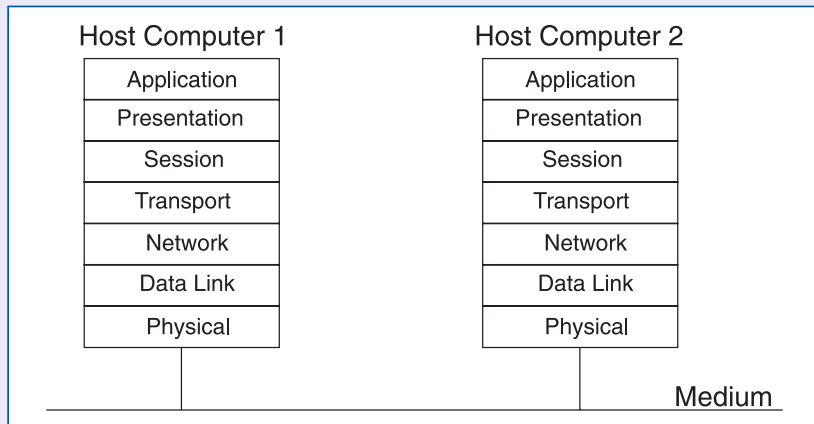
WSTĘP

RODZAJE POŁĄCZENIA

- half-duplex
- full-duplex

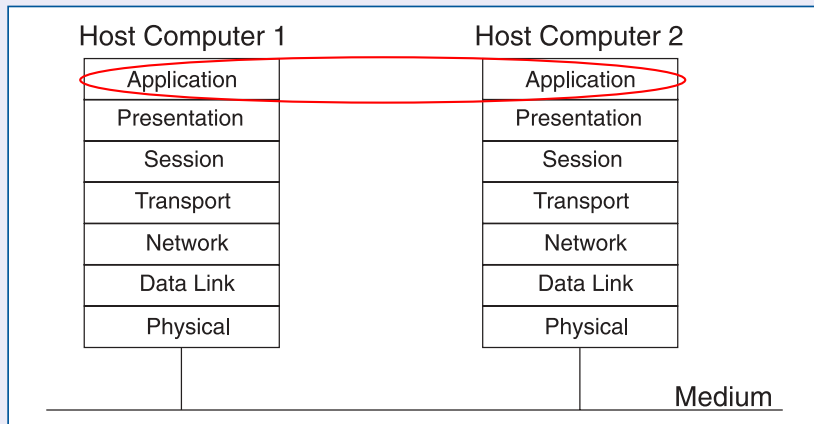
MODEL OSI

OPEN SYSTEMS INTERCONNECT (OSI)



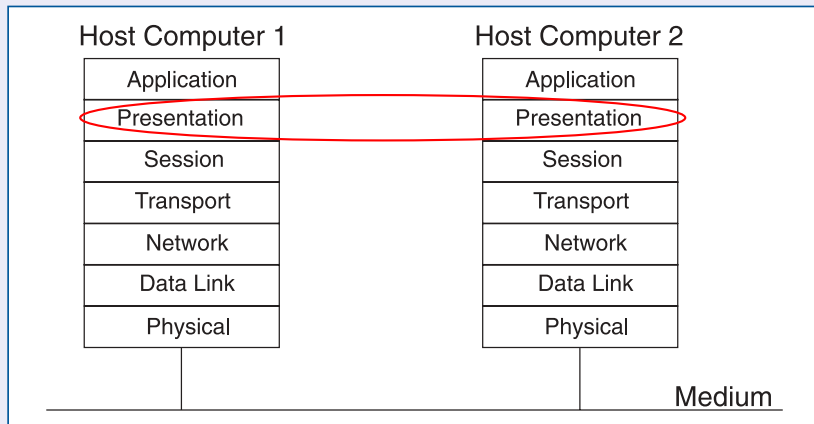
MODEL OSI

OPEN SYSTEMS INTERCONNECT (OSI)



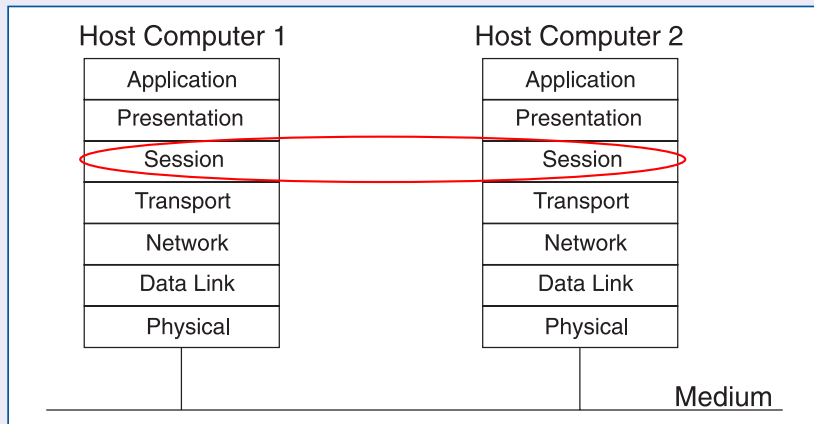
MODEL OSI

OPEN SYSTEMS INTERCONNECT (OSI)



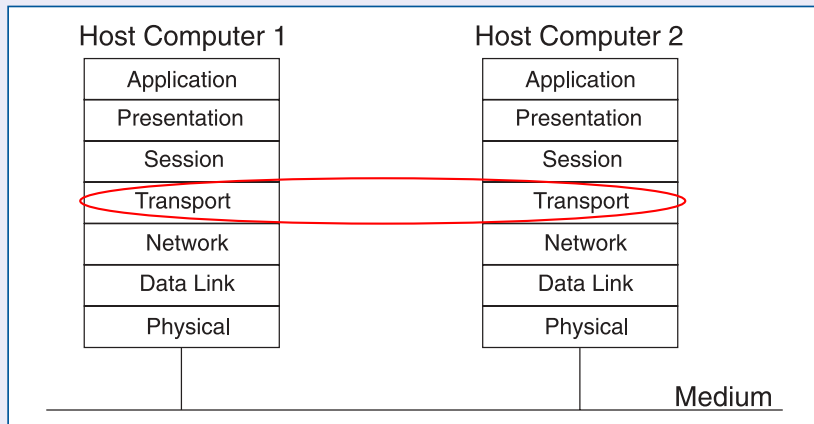
MODEL OSI

OPEN SYSTEMS INTERCONNECT (OSI)



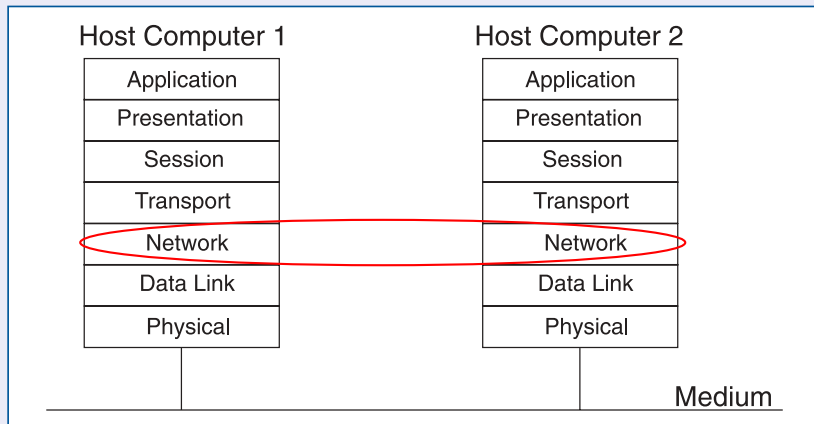
MODEL OSI

OPEN SYSTEMS INTERCONNECT (OSI)



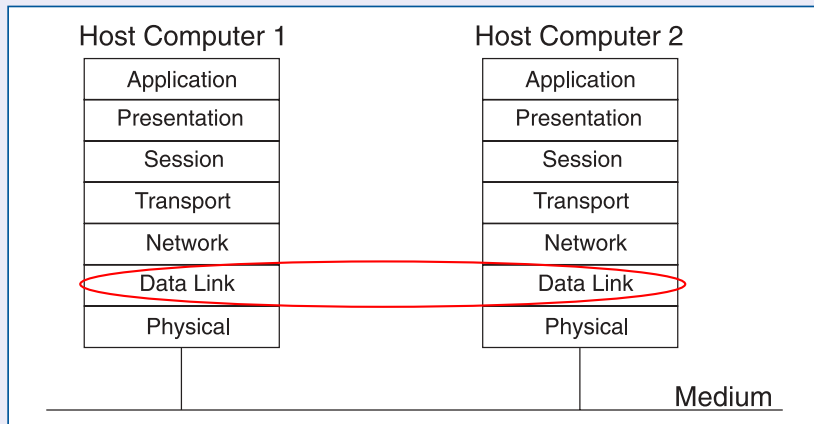
MODEL OSI

OPEN SYSTEMS INTERCONNECT (OSI)



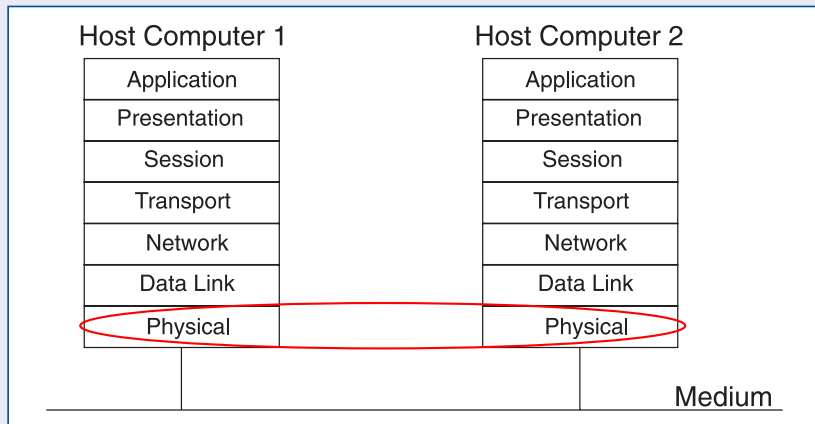
MODEL OSI

OPEN SYSTEMS INTERCONNECT (OSI)



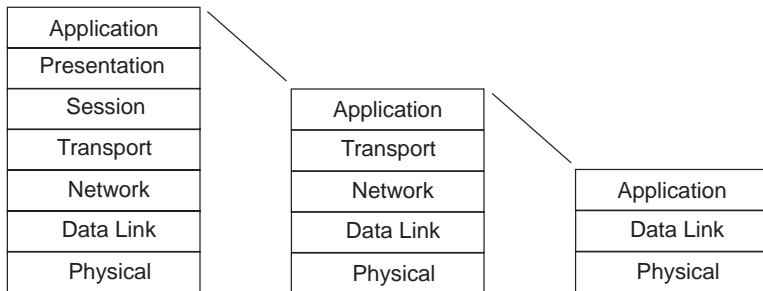
MODEL OSI

OPEN SYSTEMS INTERCONNECT (OSI)



MODEL OSI

ZASTOSOWANIA PRZEMYSŁOWE



MAC

MEDIUM ACCESS CONTROL (MAC)

Sposób dostępu do medium komunikacyjnego (przewodu), który jest współdzielony przez wiele urządzeń ze względów oszczędnościowych.

Metody:

- CSMA/CD
- token-passing

MAC Address – 48-bitowy adres fizyczny urządzenia sieciowego, najczęściej zapisany w kodzie szesnastkowym (6x2 cyfry szesnastkowe)

MAC

CSMA/CD

Carrier Sense, Multiple Access/Collision Detection

Każdy węzeł sieci nasłuchuje czy medium nie jest aktualnie zajęte przez inny węzeł (Carrier Sense). Jeśli jest zajęte, węzeł odczeka pewien czas. Jeśli dwa węzły zaczną nadawać jednocześnie (Multiple Access) powstaje kolizja i wszystkie ramki muszą zostać zniszczone. Węzły potrafią wykryć kolizję (Collision Detection) poprzez monitorowanie medium podczas wysyłania. Jeśli zostanie wykryta kolizja jest nadawana sekwencja zakłócająca (jam sequence).

MAC

CSMA/CD c.d.

Backoff algorithm

W przypadku gdy nastąpi kolizja urządzenie nadające stosuje algorytm backoff w celu wyznaczenia czasu oczekiwania.

$n := 0$, $k := 0$, $r := 0$ jeśli wystąpiła kolizja:

- 1 zwiększ n (Transmit Counter)
- 2 jeśli $n > 16$ błąd transmisji, powiadom warstwę wyższą
- 3 jeśli $n \leq 16$ weź $k = \min(n, 10)$
- 4 wylosuj r ze zbioru $\{0, 1, 2, 4, \dots, 2^k\}$
- 5 odczekaj $r \times \text{slot_time}$

MAC

TOKEN-PASSING

Alternatywą do dostępu CSMA/CD jest metoda przekazywania tokenu. Tylko urządzenie posiadające w danym momencie token może rozpocząć nadawanie tylko jednej wiadomości. Długość wiadomości jest zwykle ograniczona od góry.

ADRES IP

ADRES IP

- IPv4

Długość adresu 32bity (4bajty)

ddd . ddd . ddd . ddd

gdzie $0 \leq \text{ddd} \leq 255$, a każdy znak **d** jest cyfrą **dziesiętną**.

- IPv6 Długość 128bitów (16bajtów)

xxxx : xxxx : xxxx : xxxx : xxxx : xxxx : xxxx : xxxx

gdzie każdy znak **x** to cyfra **szesnastkowa** reprezentująca 4 bity.

ADRES IP

PODSIEĆ, MASKA PODSIECI

Dysponujemy następującym przykładowym adresem IP

192.168.22.17

Jaki jest adres sieci, dla maski

255.255.255.0

ADRES IP

PODSIEĆ, MASKA PODSIECI

Adres IP

192.168. 22. 17 11000000.10101000.00010110.00010001

Maska podsieci

255.255.255. 0 11111111.11111111.11111111.00000000

Podsieć

192.168. 22. 0 11000000.10101000.00010110.00000000

Broadcast

192.168. 22.255 11000000.10101000.00010110.11111111

Host Min.

192.168. 22. 1 11000000.10101000.00010110.00000001

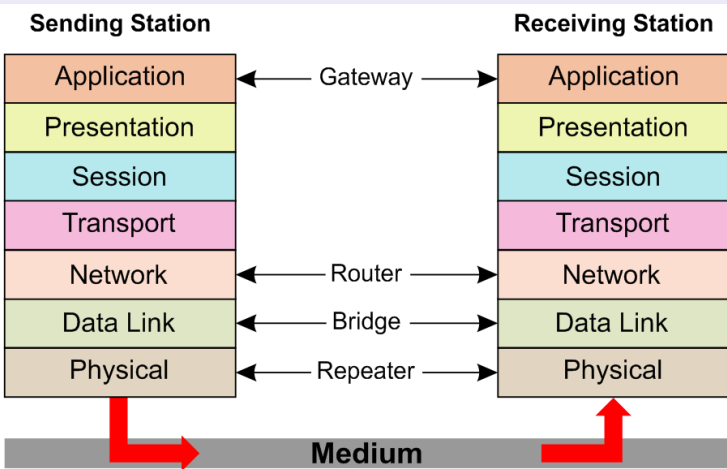
Host Max.

192.168. 22.254 11000000.10101000.00010110.11111110

Liczba hostów: $2^8 - 2 = 256 - 2 = 254$

URZĄDZENIA SIECIOWE

URZĄDZENIA SIECIOWE A WARSTWY MODELU OSI



HUBY

WŁASNOŚCI

Urządzenie typu Hub jest niezbędne jeśli wymagana jest topologia typu gwiazda, gdy trzeba połączyć ze sobą więcej niż dwa urządzenia. Wszystkie urządzenia wpięte do huba działają w jednej wspólnej domenie kolizyjnej (Collision Domain) Wymagania wg IEEE 802.3

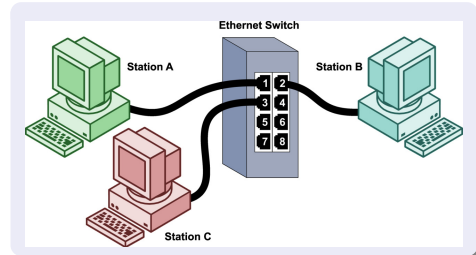
- Odtworzenie sygnału (amplituda i symetria)
- Ponowna synchronizacja sygnałów, zapobieganie narastaniu przesunięć fazowych (retiming)
- Nadzór nad kolizjami
- Zwiększanie zasięgu sieci

SWITCHE

WŁASNOŚCI

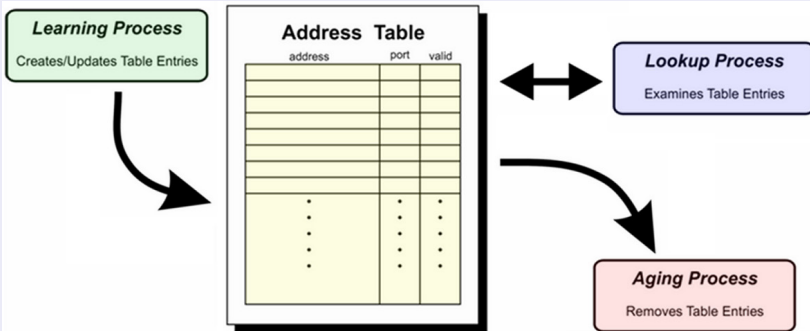
Switch (Switching hub, bridge) pracuje z zawartościami ramek ethernetowych

- dekodowanie i zapamiętywanie ramek
- rozdzielanie ramek do właściwych urządzeń
- testowanie spójności ramek
- brak kolizji



SWITCHE

PROCES UCZENIA



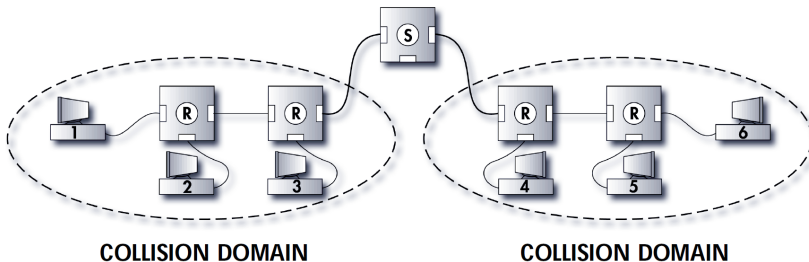
SWITCHE

FUNKCJE DODATKOWE

- Auto negocjacja
- Auto-MDIX
- Kontrola przepływu
 - backpressure
 - pause
- Fast Link Pulse (FLP), Normal Link Pulse (NLP)

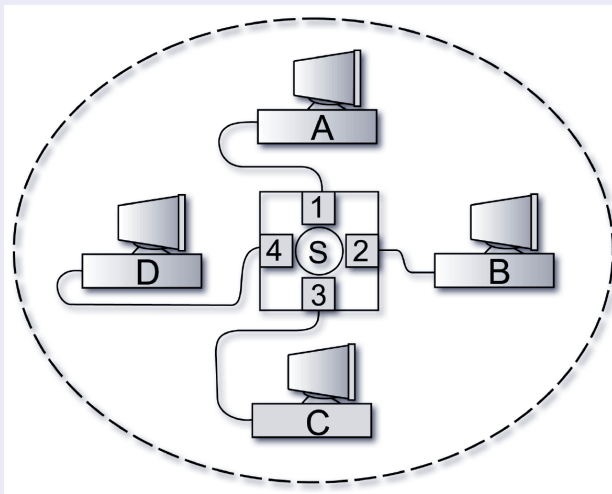
SWITCHE

SWITCH ŁĄCZĄCY DWIE DOMENY KOLIZYJNE



SWITCHE

KAŻDE URZĄDZENIE WE WŁASNEJ DOMENIE KOLIZYJNEJ



URZĄDZENIA SIECIOWE

KIEDY HUB, KIEDY SWITCH

Problem

Niskie koszty

Zmniejszenie opóźnień danych

Proste aplikacje

Praca przy 100Mbps

Praca Full-duplex

Auto negocjacja

Duże odległości

Praca Master/Slave

Protokoły Peer-to-Peer

Analiza sieci

Rekomendacja

Hub

Hub

Hub

Switch

Switch

Switch

Switch

Hub i Switch

Switch

Hub

URZĄDZENIA SIECIOWE

ETHERNET I FAST ETHERNET

	Ethernet 802.3	FastEthernet 802.3u
Slot time	51.2 μ s	5.12 μ s
Interframe Gap	9.6 μ s	0.96 μ s
Attempt Limit	16 tries	16 tries
Backoff Limit	10 (exponent)	10 (exponent)
Jam Size	3.2 μ s	0.32 μ s
Max Frame Size	1214.4 μ s	121.44 μ s
Min Frame Size	6.4 μ s	0.64 μ s
Addres Size	4.8 μ s	0.48 μ s

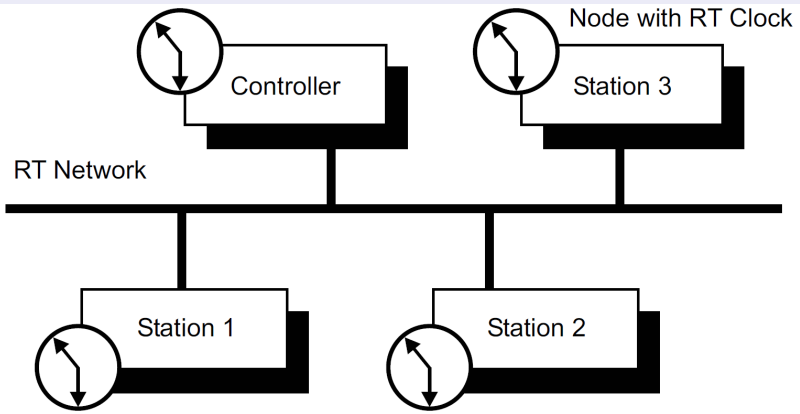
URZĄDZENIA SIECIOWE

ETHERNET I FAST ETHERNET

	10Base-T	100Base-TX	100Base-FX
Data Rate	10 Mbps	100 Mbps	100 Mbps
Wires	4	4	2 (fibers)
Cable	Cat.3 UTP	Cat.5 UTP	62.5/125 μm
Connector	RJ-45	RJ-45	SC or ST
Max Segment	100m	100m	2km

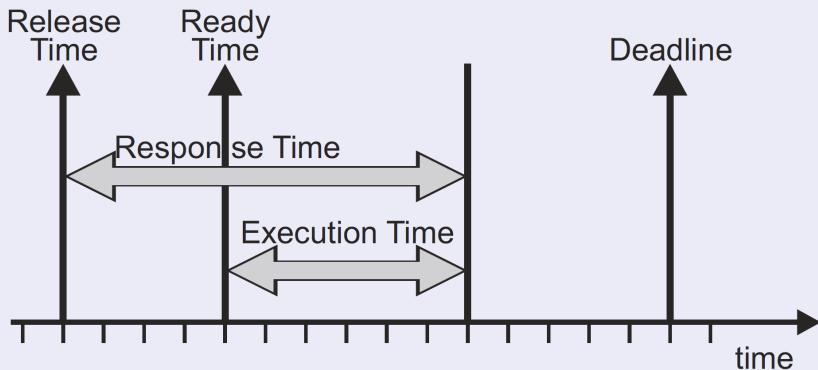
REAL-TIME ETHERNET

ROZPROSZONY UKŁAD CZASU RZECZYWISTEGO



REAL-TIME ETHERNET

ZDARZENIA W UKŁADZIE CZASU RZECZYWISTEGO



REAL-TIME ETHERNET

KATEGORIE UKŁADÓW CZASU RZECZYWISTEGO

HARD REAL-TIME (HRT) błędne działanie prowadzi do katastrofy. Błędy w układzie HRT prowadzą do obrażeń ludzi i uszkodzeń sprzętu.

SOFT REAL-TIME (SRT) błędy w działaniu układów SRT nie prowadzą do utraty zdrowia lub mienia. Takie układy nie mogą być stosowane w układach bezpieczeństwa.

REAL-TIME ETHERNET

TYPOWE CZASY CYKLI

Aplikacja

Czujniki wolnozmiennie (temp., ciśn.)

Systemy sterowania napędami

Systemy sterowania ruchem (roboty)

Precyzyjne sterowanie ruchem

Urządzenia szybkozmiennie

Dalmierze (detekcja uszkodzeń)

Typowy czas cyklu

dziesiątki milisekund

milisekundny

setki mikrosekund

dziesiątki mikrosekund

mikrosekundny

mikrosekundny

REAL-TIME ETHERNET

ROZWIĄZANIA PRZEMYSŁOWE

- EtherNet/IP
- EtherCAT
- ETHERNET Powerlink
- PROFINet



REAL-TIME ETHERNET

ETHERNET/IP

IP oznacza Industrial Protocol

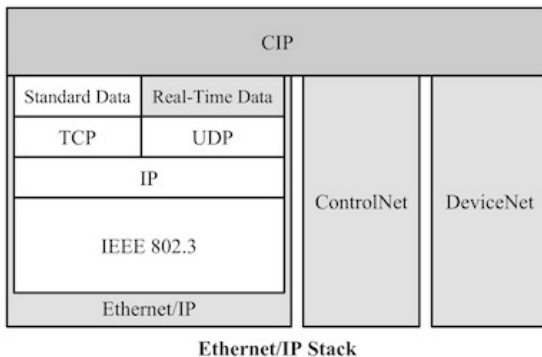
Protokół stworzony przez

- CI (ControlNet International)
- ODVA (Open DeviceNet Vendors Association)
- IEA (Industrial Ethernet Association)

Zbudowany w oparciu o standardy IEEE 802.3 i TCP/UDP/IP.
Wykorzystuje protokół CIP (Control and Information Protocol)

REAL-TIME ETHERNET

CONTROL AND INFORMATION PROTOCOL (CIP)



REAL-TIME ETHERNET

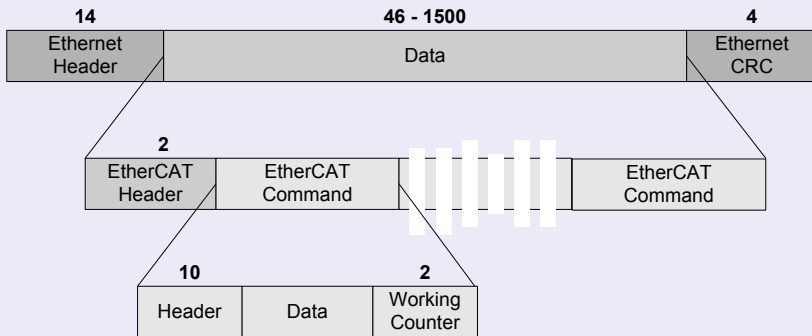
ETHERCAT

EtherCAT (Ethernet for Control Automation Technology) stworzony przez firmę Beckhoff. Ethernet czasu rzeczywistego dla sterowania ruchem. Własności:

- Obsługa do 1000 I/O w $30\mu s$ w full-duplex
- Przewody miedziane lub światłowodowy
- Oparty o metody Master/Slave
- Może współdziałać ze standardowymi sieciami TCP/IP i przemysłowymi sieciami jak EtherNet/IP
- Dowolne topologie sieci w tym topologia bus

REAL-TIME ETHERNET

ETHERCAT



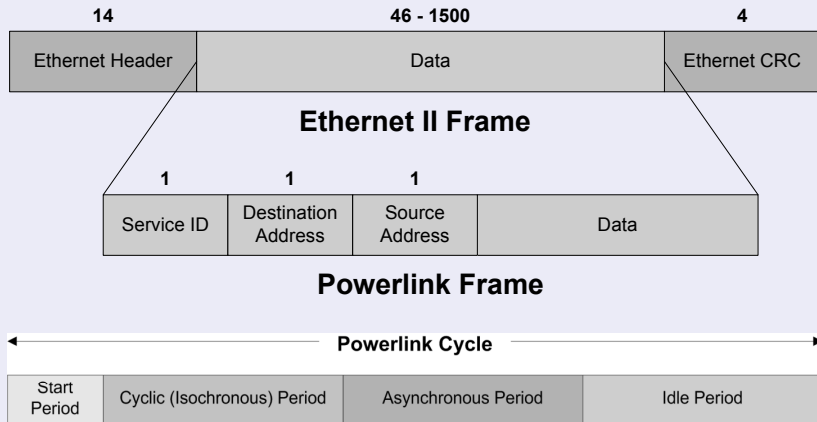
REAL-TIME ETHERNET

ETHERNET POWERLINK

- ETHERNET Powerlink jest protokołem HRT
- Czasy cyklu ok. $200\mu s$
- Podział transmisji na sloty-czasowe
- Oparty o metody Master/Slave

REAL-TIME ETHERNET

ETHERNET POWERLINK



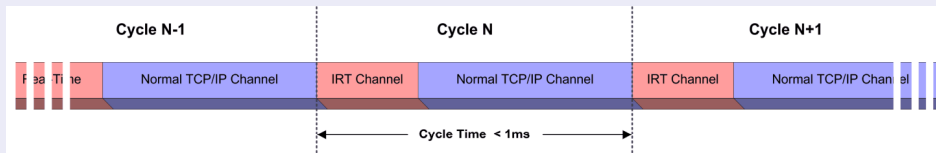
REAL-TIME ETHERNET

PROFINET

- Zbudowany w oparciu o standardy IEEE 802.3 i TCP/UDP/IP
- Kompatybilny z PROFIBUS-DP
- PROFINET V1 czas odpowiedzi 10-100ms
- PROFINET-SRT czasy cykli 5-10ms
- PROFINET-IRT (Isochronous RT) czas cyklu poniżej 1ms, jitter rzędu $1\mu\text{s}$, deterministyczny

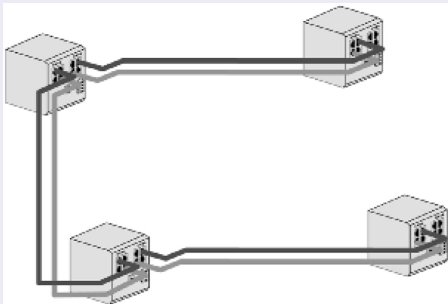
REAL-TIME ETHERNET

PROFINET-IRT PODZIAŁ KANAŁU



REDUNDANCJA SIECI

AGREGACJA ŁĄCZY

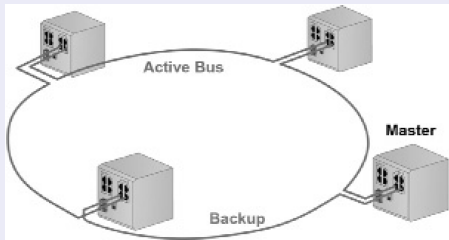


WŁASNOŚCI

- Zwiększenie prędkości przesyłu
- Bardzo szybki czas przywracania
- Dedykowane switchce
- Stosunkowo drogi sprzęt i okablowanie

REDUNDANCJA SIECI

TOPOLOGIA RING



WŁASNOŚCI

- Standardowa prędkość przesyłu
- Standardowy czas przywracania
- Dedykowane switche (loop condition)
- Stosunkowo tanie wdrożenie

REDUNDANCJA SIECI

PROTOKOŁY DO WDRAŻANIA REDUNDACJI SIECI

MRP Media Redundancy Protocol

PRP Parallel Redundancy Protocol

STP Spanning Tree Protocol

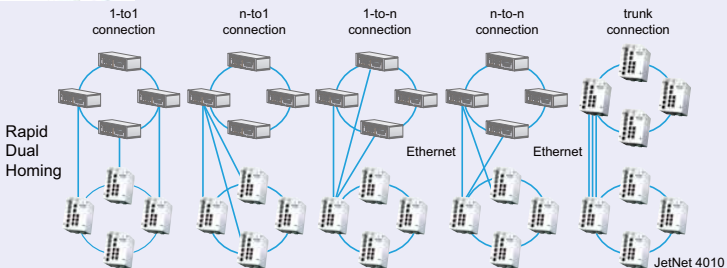
RSTP Rapid Spanning Tree Protocol

REDUNDANCJA SIECI

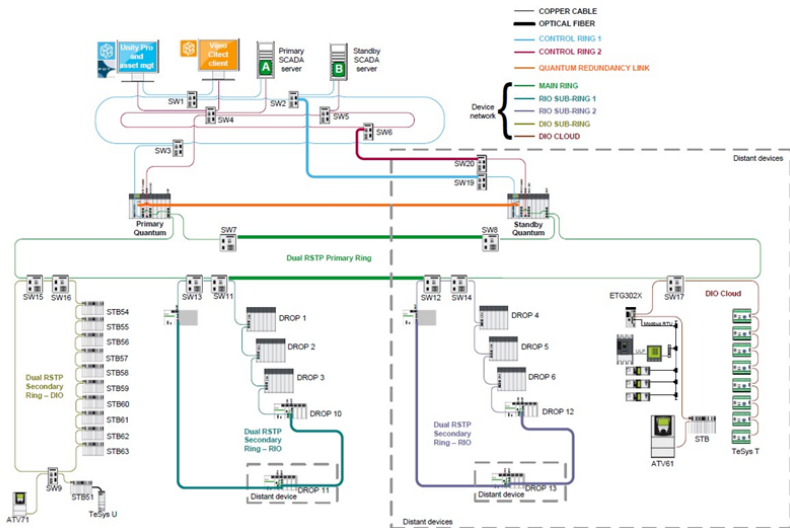
KORENIX JETNET 4010



- Multiple Super Ring MSR
- Rapid Dual Homing RDH
- Link Aggregation

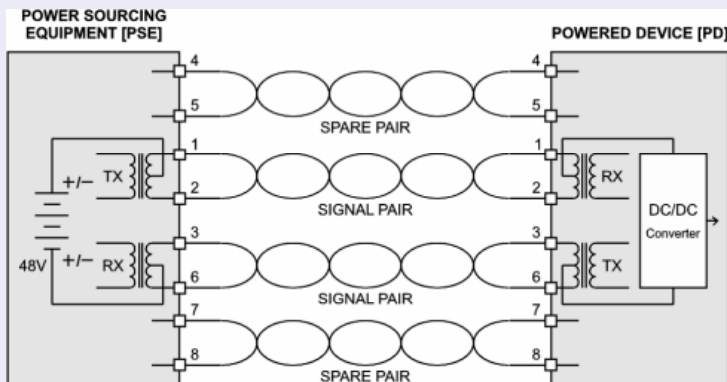


REDUNDANCJA SIECI - PRZYKŁAD



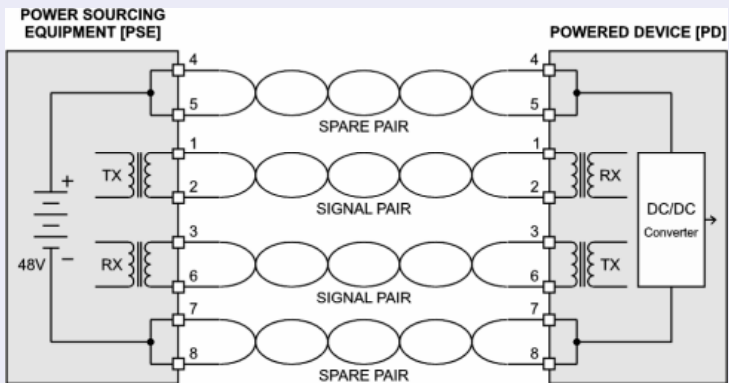
POWER OVER ETHERNET

ALTERNATYWA A



POWER OVER ETHERNET

ALTERNATYWA B



DEFINICJE

UNICAST połączenie jeden do jednego

MULTICAST połączenie jeden do wielu

BROADCAST połączenie jeden do wszystkich

RPI Request Packet Interval

MAC Medium Access Control

IP Internet Protocol

CSMA/CD Carrier Sense, Multiple Access/Collision Detection

TCP Transmission Control Protocol

UDP User Datagram Protocol

OSI Open Systems Interconnect

UTP Unshielded Twisted Pair



Remote I/O Network Determinism

D. Doggett, M. J. Palomino

Schneider Electric



Common Industrial Protocol (CIP)

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



Industrial Ethernet Book

<http://www.iebmedia.com>



Control Network – Contemporary Controls

<http://www.ccontrols.com>



The Extension and Essentials

Technical Supplement to the Control Network

<http://www.ccontrols.com>



Industrial Ethernet University

<http://www.industrialethernetu.com/>



IBM Knowledge Center

<https://www.ibm.com/support/knowledgecenter/pl/>