

Sieci czasu rzeczywistego

Jakub Arnold Postępski

15 grudnia 2017

Rozkład jazdy

- ▶ Wprowadzenie
- ▶ Potrzebne narzędzia
- ▶ Wybrane implementacje sieci RT
- ▶ Praktyczne realizacje
- ▶ Podsumowanie

Definicje

Systemy czasu rzeczywistego - Urządzenie techniczne, którego wynik i efekt działania jest zależny od chwili wypracowania tego wyniku. [16]

Przepustowość - In computing, bandwidth is the bit-rate of available or consumed information capacity expressed typically in metric multiples of bits per second. Variously, bandwidth may be characterized as network bandwidth, data bandwidth, or digital bandwidth. [1]

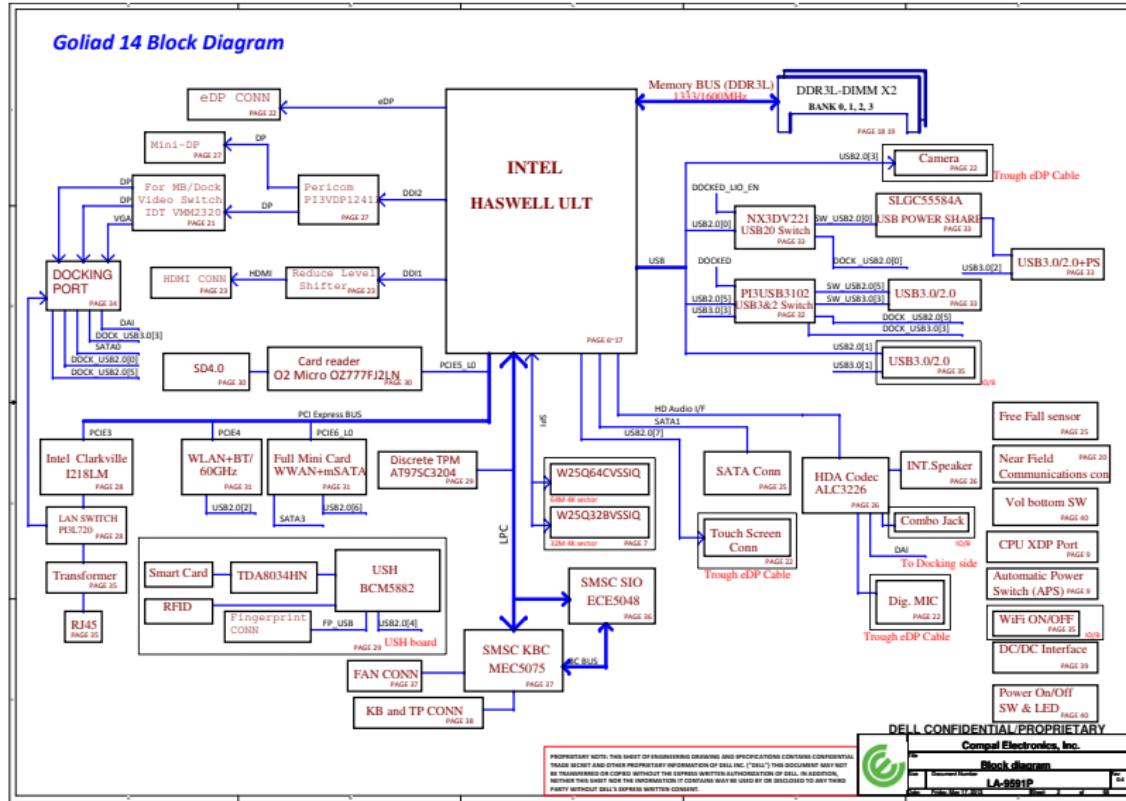
Co chcemy uzyskać? - Sieci telekomunikacyjne

- ▶ Telekomunikacja
- ▶ Kontrola systemów infrastruktury
- ▶ Automotive
- ▶ Medycyna
- ▶ Wojsko
- ▶ Przemysł
- ▶ Energetyka
- ▶ Robotyka

Co chcemy łączyć? - Urządzenia

- ▶ Linux z patchem RT
- ▶ BeagleBone
- ▶ µC na przerwaniach
- ▶ µC z pseudo systemem operacyjnym
- ▶ PLC
- ▶ FPGA

Przykład urządzenia



Rysunek: Schemat ideowy płyty głównej laptopa [4]

Rodzaje łącz

- ▶ Bezprzewodowe
- ▶ Przewodowe
- ▶ Światłowodowe

- ▶ Szeregowe
- ▶ Równoległe

- ▶ Analogowe
- ▶ Cyfrowe
- ▶ Ze zwielokrotnieniem falowym

Problemy z automatycznymi gołąbkami

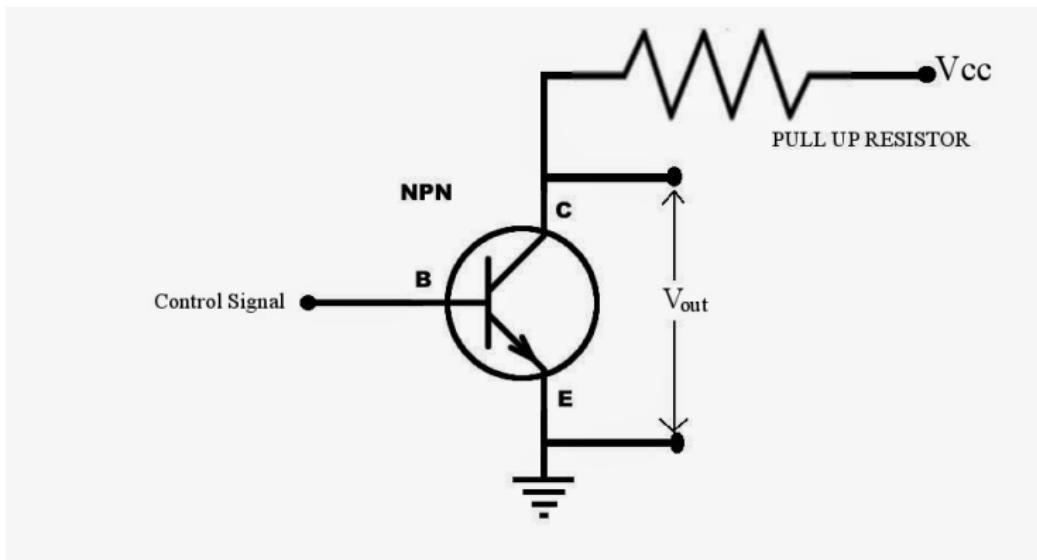
- ▶ Half duplex
- ▶ Full duplex

- ▶ Jeden master
- ▶ Wiele masterów
- ▶ Wykrywanie kolizji
- ▶ Tokeny
- ▶ Synchronizacja czasu
- ▶ Enkapsulacja
- ▶ Kompresja
- ▶ Korekcja błędów
- ▶ Zakłócenia elektromagnetyczne
- ▶ Ilość węzłów w sieci
- ▶ Skończona prędkość rozchodzenia fali

Elektronika

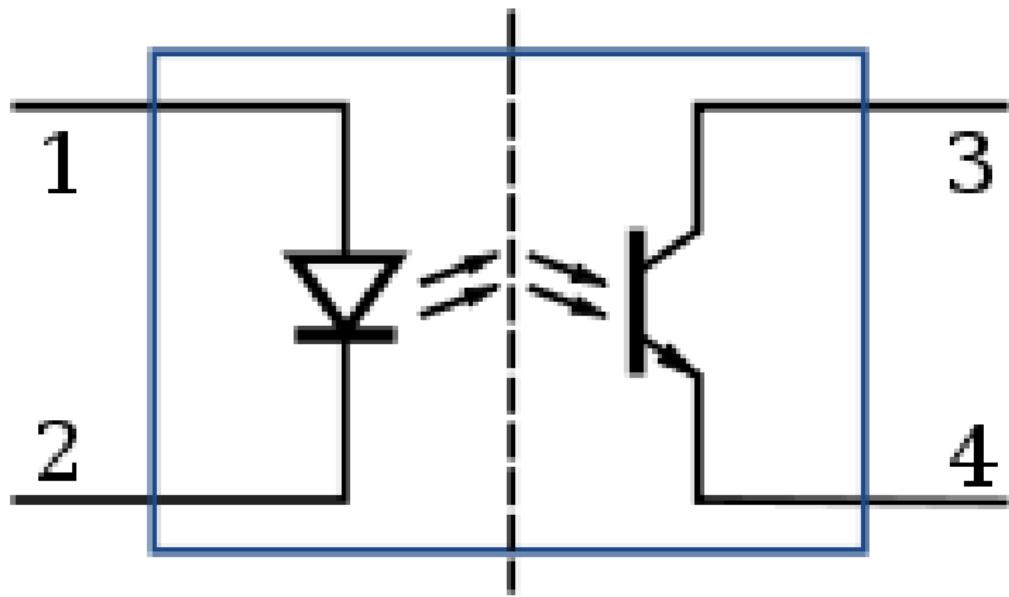
- ▶ μ C
- ▶ Wzmacniacze
- ▶ Komparatory
- ▶ Transformatory
- ▶ A/C

Otwarty kolektor/dren



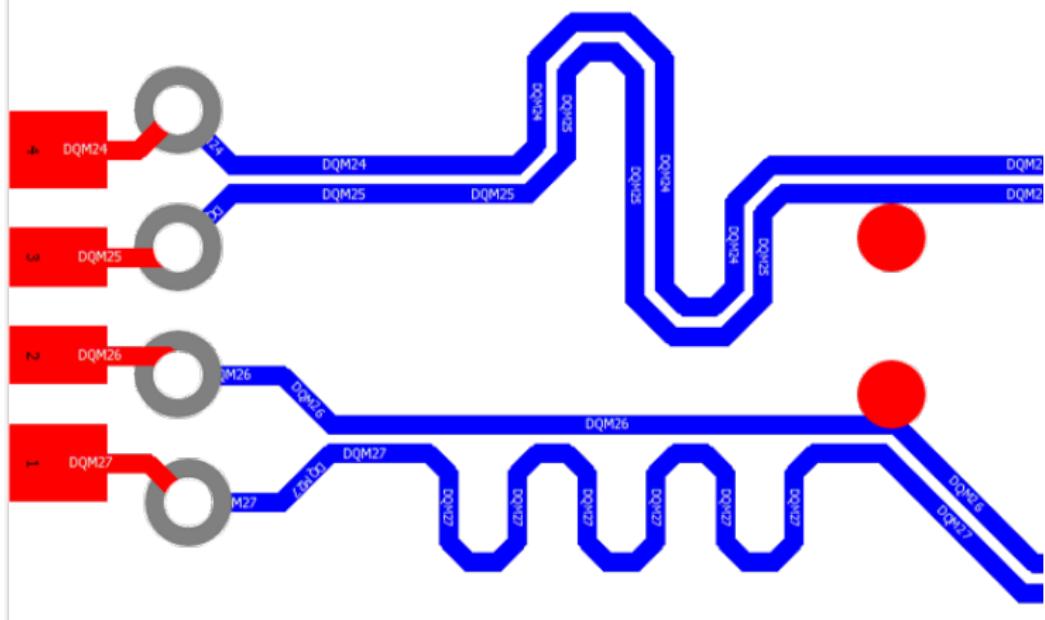
Rysunek: Schemat otwartego kolekotra[5]

Optoizolacja



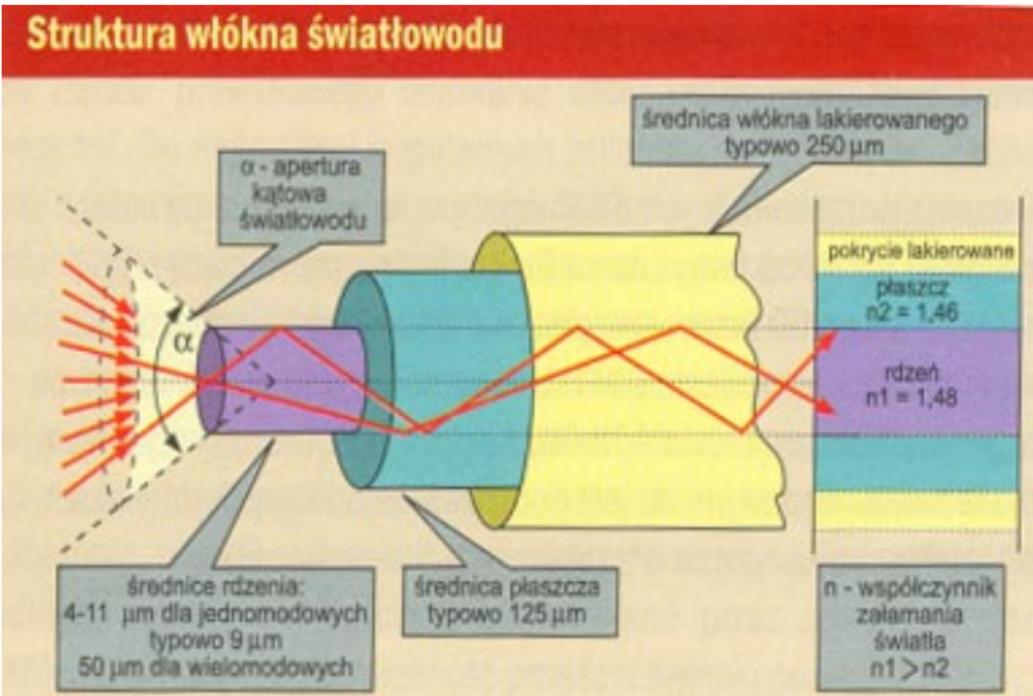
Rysunek: Schemat transoptora[18]

Para różnicowa



Rysunek: Przykładowa realizacja pary różnicowej na PCB[5]

Budowa światłowodu

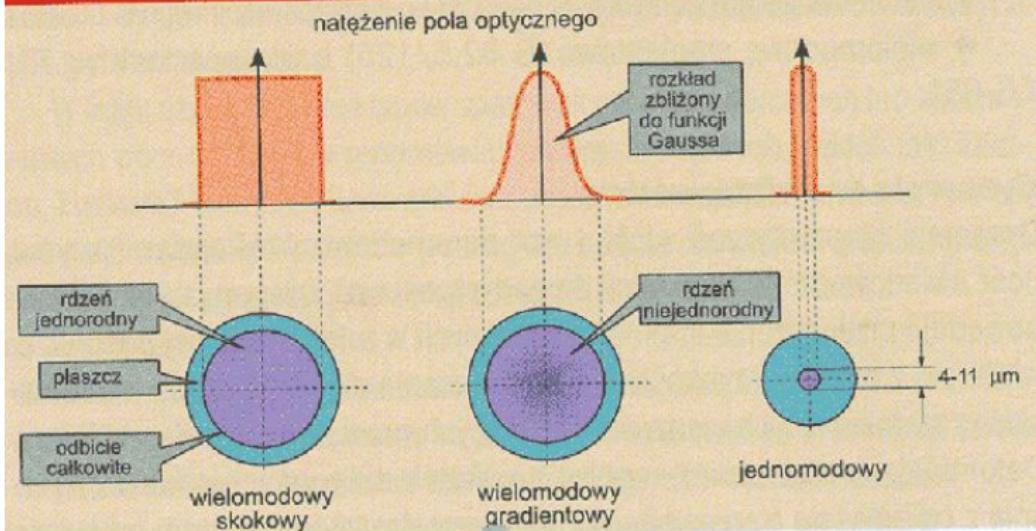


Rysunek: Budowa światłowodu [17]

Rodzaje światłowodów

- ▶ Wielomodowe
- ▶ Jednomodowe
- ▶ Skokowe
- ▶ Gradientowe
- ▶ Plastikowe
- ▶ Szklane (np. SiO_2)
- ▶ Półprzewodnikowe (np. GaAs)

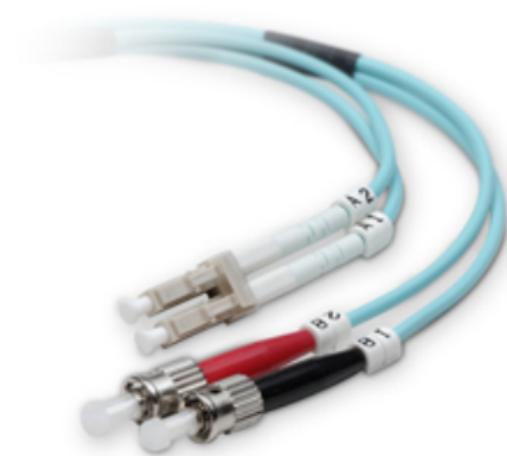
Rozkład energii optycznej



Rysunek: Wyjście światłowodu [17]

Łączenie światłowodu

- ▶ Trwałe
- ▶ Rozłączne



Rysunek: Złącze LC i ST (dół) [11]

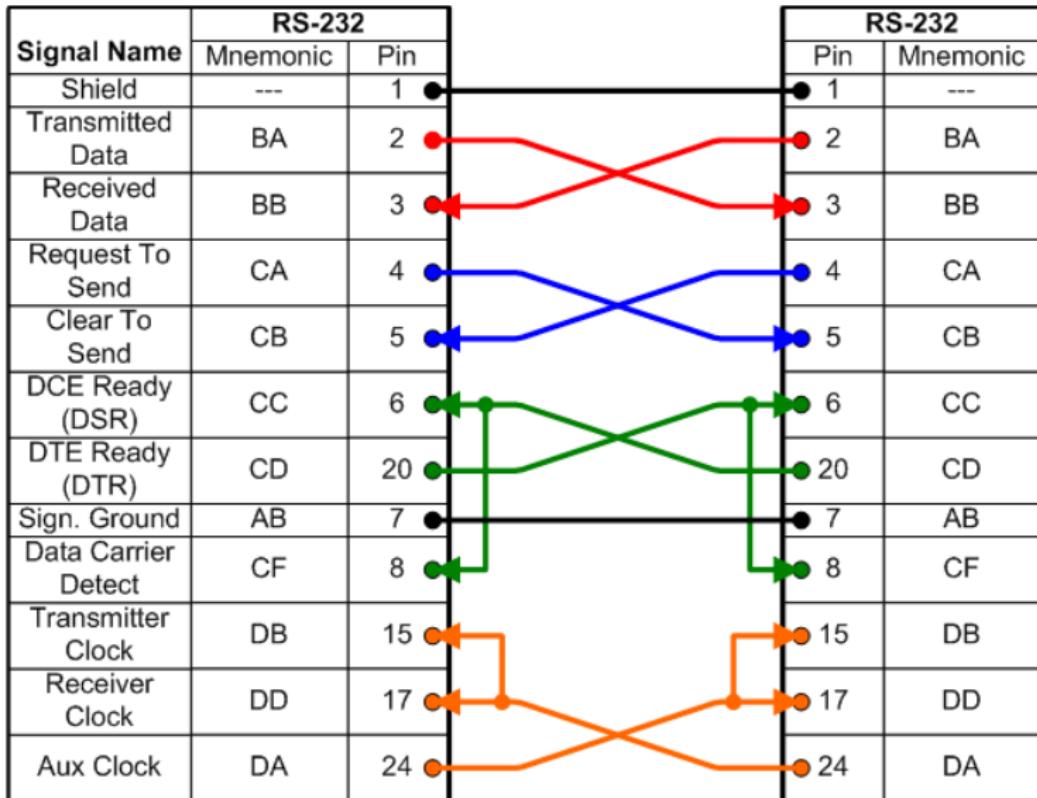
Światłowody

- ▶ Prędkości nawet rzędu Tbit/s
- ▶ Małe tłumienie - duże odległości
- ▶ Brak problemów elektromagnetycznych (także bezpieczeństwo)
- ▶ LED lub laser (klasa 1 - bezpieczny; klasa 4 - poparzenia i pożary)
- ▶ Problemy z fizycznymi połączeniami
- ▶ Wrażliwość na uszkodzenia
- ▶ Koszt wykonania

RS-232

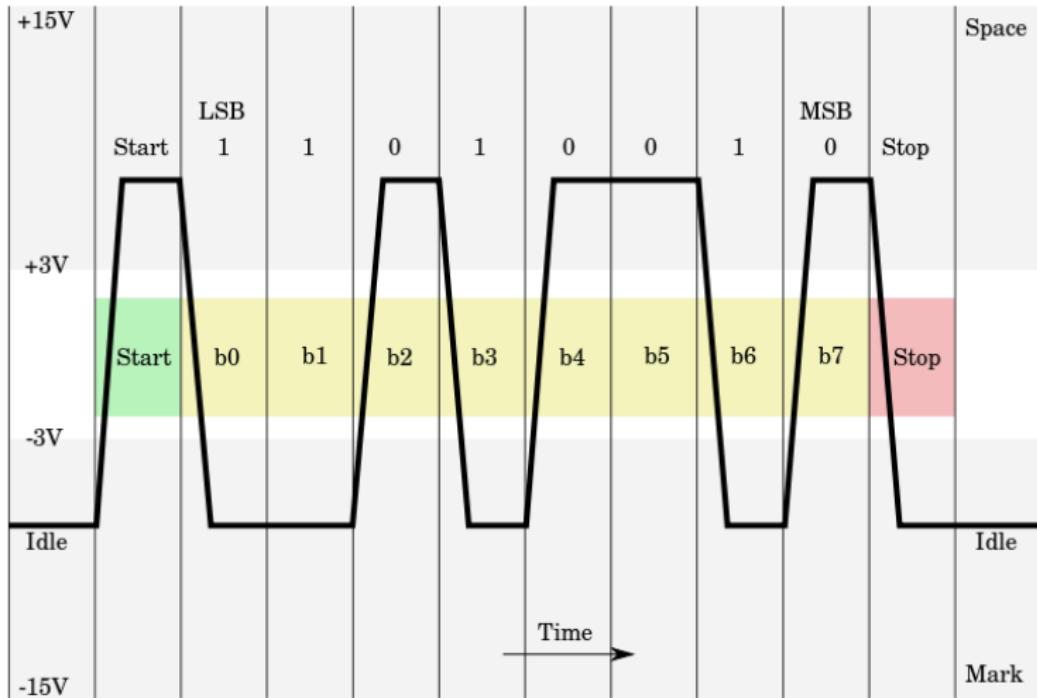
- ▶ 2 urządzenia
- ▶ 15 m
- ▶ Wystarczą 3 przewody
- ▶ Wybrane prędkości: 50, 9600, 115200, 921600 bit/s
- ▶ Tryb asynchroniczny
- ▶ Tryb synchroniczny

RS-232



Rysunek: Piny standardu RS232 [13]

RS-232



Rysunek: Listing przesłania ramki [12]

RS-485

- ▶ 32 urządzeń
- ▶ 1200 m
- ▶ 10 Mbit/s
- ▶ Sygnał różnicowy
- ▶ Half-duplex

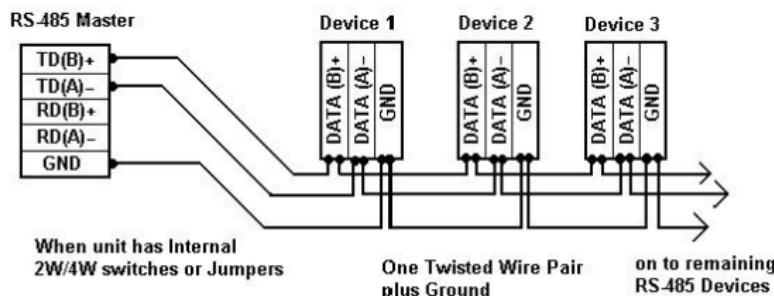
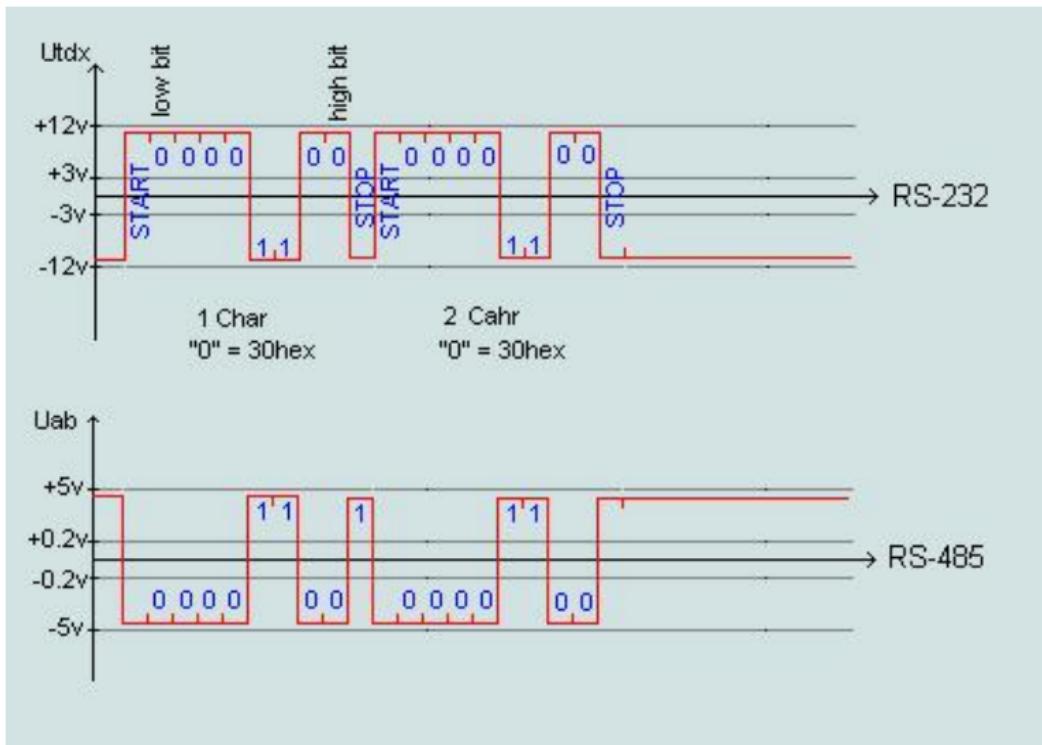


Fig. 2
2-Wire RS-485 Connections

Rysunek: Schemat połączenia urządzeń [14]

RS-485 vs RS-232



Rysunek: Schemat połączenia urządzeń [15]

Modbus

Object type	Access	Size
Coil	Read-write	1 bit
Discrete input	Read-only	1 bit
Input register	Read-only	16 bits
Holding register	Read-write	16 bits

Rysunek: Typy obiektów [9]

Name	Length (bytes)	Function
Start	1	Starts with colon : (ASCII hex value is 3A)
Address	2	Station address
Function	2	Indicates the function codes like read coils / inputs
Data	$n \times 2$	Data + length will be filled depending on the message type
LRC	2	Checksum (Longitudinal redundancy check)
End	2	Carriage return – line feed (CR/LF) pair (ASCII values of 0D , 0A)

Rysunek: Instrukcje protokołu dla RS-485 [9]

Modbus

Function type		Function name	Function code
Data Access	Bit access	Physical Discrete Inputs	Read Discrete Inputs
		Internal Bits or Physical Coils	Read Coils Write Single Coil Write Multiple Coils
		Physical Input Registers	Read Input Registers
		Internal Registers or Physical Output Registers	Read Multiple Holding Registers Write Single Holding Register Write Multiple Holding Registers
	16-bit access	Read/Write Multiple Registers	16
		Mask Write Register	23
		Read FIFO Queue	22
		Read File Record	24
		Write File Record	20
Diagnostics	File Record Access		21
	Read Exception Status		7
	Diagnostic		8
	Get Com Event Counter		11
	Get Com Event Log		12
	Report Slave ID		17
Other		Read Device Identification	43
		Encapsulated Interface Transport	43

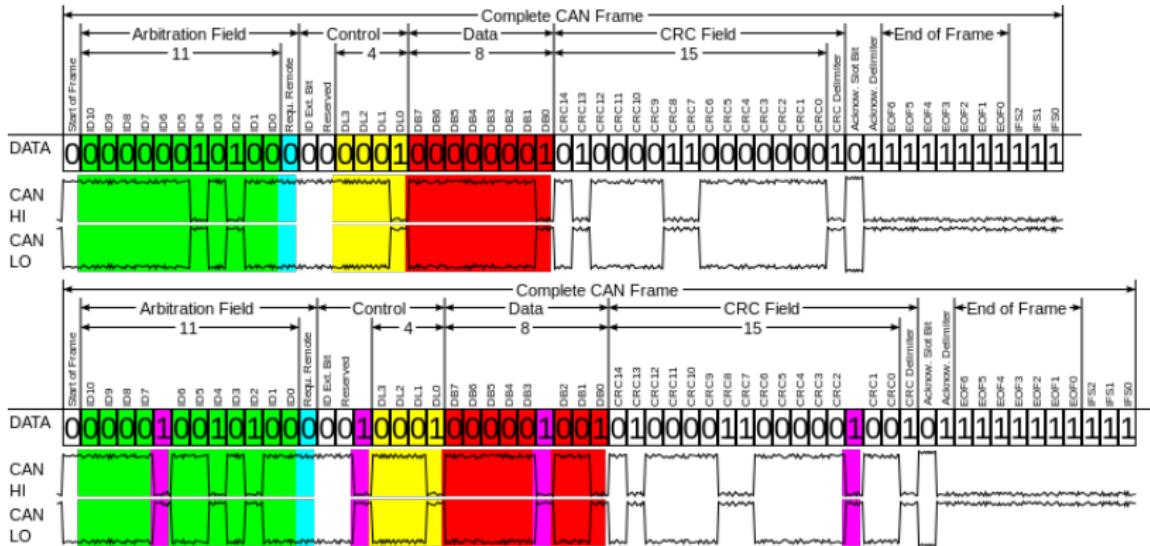
Rysunek: Instrukcje protokołu [9]

CAN

Stworzona dla automotiwu, ale stosowana szerzej. Niezawodna jak PKiN.

- ▶ 40 m
- ▶ 1 Mbit/s
- ▶ Równolegle połączona para różnicowa
- ▶ Specjalne przewody
- ▶ Rezystory terminalne 120 Ohm
- ▶ 11 bitowy identyfikator w wersji 2.0A
- ▶ Multimaster, adresy determinują priorytet
- ▶ Pull-upy
- ▶ Zero dominujące
- ▶ Synchronizacja zegarów (time quanta)
- ▶ Bit stuffing
- ▶ Filtrowanie wiadomości

CAN



Rysunek: Ramka szyny CAN [2]

CANOpen

SDO - Service Data Object:

- ▶ Model serwer - klient
- ▶ Logiczne połączenie 1:1
- ▶ Możliwość przesyłania danych dowolnego rozmiaru
- ▶ Konieczność odpowiedzi serwera (może to być błąd)
- ▶ Narzut protokołu

PDO - Process Data Object:

- ▶ Model producent - konsument
- ▶ Logiczne połączenie 1:n
- ▶ Dane długości 8 bajtów
- ▶ Max. 512 PDO na jedno urządzenie
- ▶ Wyzwalane zdarzeniem (asynchroniczne)
- ▶ Wyzwalane wiadomością typu SYNC (synchroniczne)
- ▶ TxPDO mapping i RxPDO mapping
- ▶ Mały narzutu protokołu

CANOpen

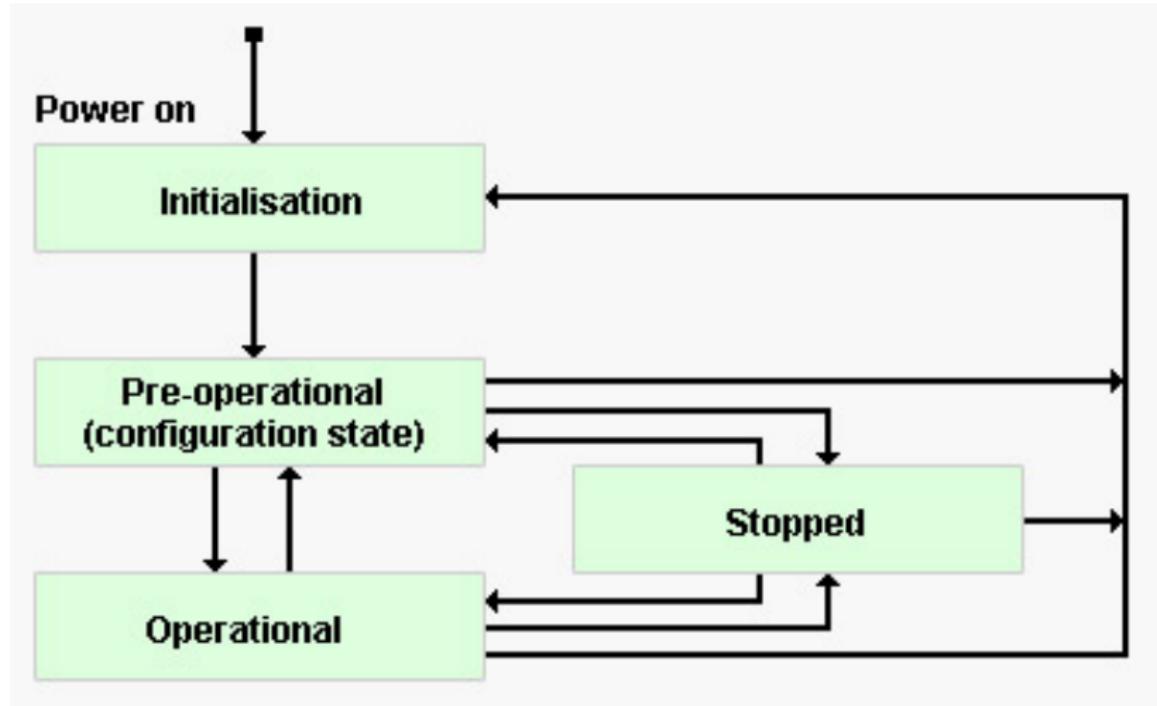
NMT - Network Management

- ▶ Zmiana stanu urządzenia
- ▶ Boot-up Message
- ▶ Node guarding
- ▶ Heartbeat message

LSS - Layer Setting Services (fizyczne połączenie 1:1):

- ▶ Przełączenie w tryb
- ▶ Inquire Node-ID
- ▶ Configure Node-ID
- ▶ Configure Bit Timing Parameters
- ▶ Powrót do trybu zwykłego

CANOpen



Rysunek: Stany urządzenia w sieci [3]

CANOpen

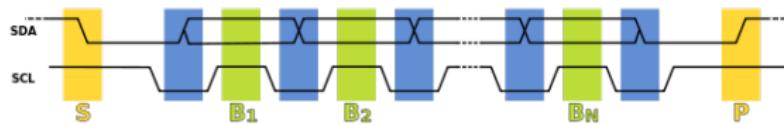
Communication object	COB-ID(s) hex	Slave nodes
NMT node control	000	Receive only
Sync	080	Receive only
Emergency	080 + NodeID	Transmit
TimeStamp	100	Receive only
PDO	180 + NodeID 200 + NodeID 280 + NodeID 300 + NodeID 380 + NodeID 400 + NodeID 480 + NodeID 500 + NodeID	1. Transmit PDO 1. Receive PDO 2. Transmit PDO 2. Receive PDO 3. Transmit PDO 3. Receive PDO 4. Transmit PDO 4. Receive PDO
SDO	580 + NodeID 600 + NodeID	Transmit Receive
NMT node monitoring (node guarding/heartbeat)	700 + NodeID	Transmit
LSS	7E4 7E5	Transmit Receive

Rysunek: Przykładowa mapa pamięci rozkazów [3]

I²C

Stosowana do połączeń pojedynczych elementów elektronicznych lub płytEK

- ▶ Połączenie równoległe
- ▶ 5 Mbit/s
- ▶ [2.3 – 5.5] V
- ▶ max. pojemność szyny: 400pF (kilka metrów)
- ▶ Pull-upy
- ▶ Wstrzymywanie zegara
- ▶ **SDA:** Dane
- ▶ **SCL:** Zegar



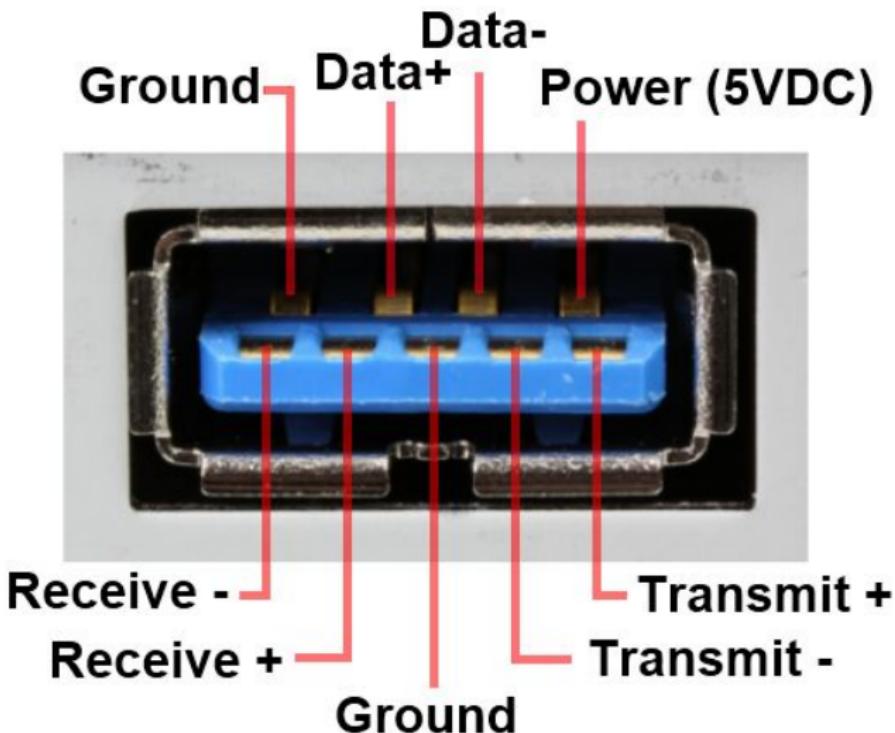
Rysunek: Listing szyny [6]

USB

Stosowana do połączeń Plug and Play urządzeń zewnętrznych komputera.

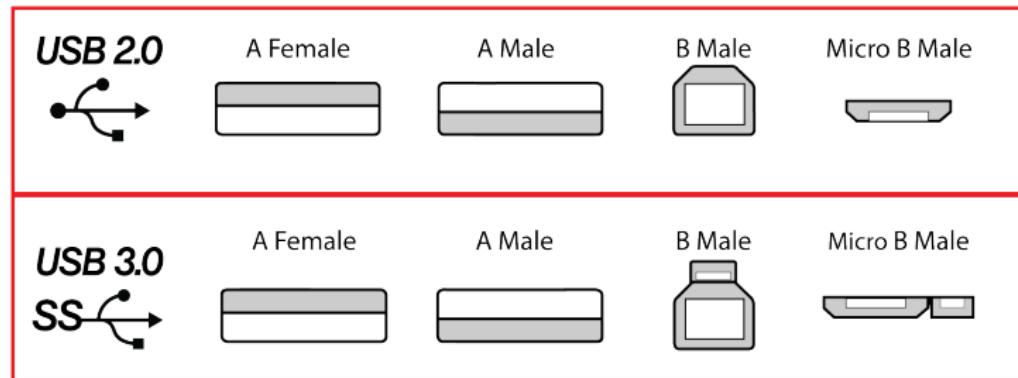
- ▶ 5 m
- ▶ 127 urządzeń
- ▶ v2.0 -> 480Mbit/s; 500 mA
- ▶ v3.2 -> 20Gbit/s; 900 mA
- ▶ USB-C; 3 A
- ▶ OMTP/GSMA; 1.5 A
- ▶ Pojedynczy host odpytuje wszystkie urządzenia cyklicznie
- ▶ Koncentratory
- ▶ Bezprzewodowy USB

USB

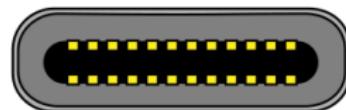


Rysunek: Złącze USB v3 typ A [20]

USB



Rysunek: Złącza USB [19]



Rysunek: Złącze USB C [19]

100BASE-TX

- ▶ 100 m
- ▶ 100 Mbit/s
- ▶ Dwie pary różnicowe (cztery przewody nieużywane)
- ▶ Topologia gwiazdy (switche)
- ▶ CSMA/CD -> sygnał JAM
- ▶ Transformatory 1:1 (separacja poziomu odniesienia)
- ▶ Power over Ethernet -> do 60 V; do 400 mA

10GBASE-T

- ▶ $F = 500\text{MHz}$
- ▶ Przesunięte pary różnicowe
- ▶ Separacja par różnicowych
- ▶ Kable kat. 6 (55 m) oraz 6a (100 m)



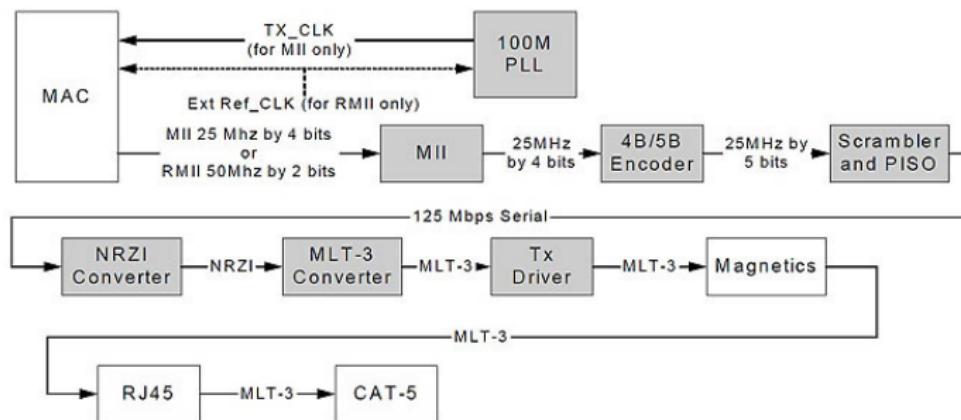
Rysunek: Kabel skrętkowy kat. 6 [21]

Ethernet



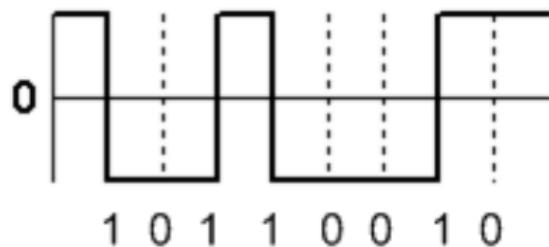
Rysunek: Wtyki RJ-45 [21]

100BASE-Tx

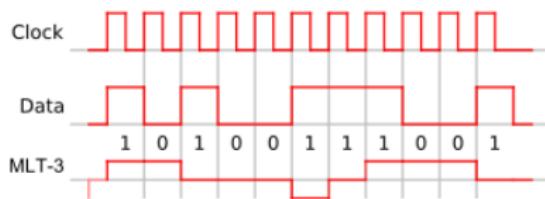


Rysunek: Przepływy danych w karcie sieciowej [21]

100BASE-Tx



Rysunek: Kod NRZI [10]



Rysunek: Kod MLT-3 [8]

WiFi

- ▶ ok. 100-200 m
- ▶ 2,4 GHz lub 5,8 GHz
- ▶ B, G, N, AC
- ▶ (Half-duplex)
- ▶ Nie wszystkie urządzenia się widzą
- ▶ CSMA/CA -> synał próbnny
- ▶ Kanały

UDP i TCP

UDP:

- ▶ Szybki
- ▶ Brak potwierdzenia odbioru
- ▶ CRC

TCP:

- ▶ Wolniejszy
- ▶ Niezawodny
- ▶ Algorytm Neagle'a
- ▶ Szatkowanie danych
- ▶ Niepewność kolejności otrzymania

Modbus TCP/IP

Name	Length (bytes)	Function
Transaction identifier	2	For synchronization between messages of server and client
Protocol identifier	2	0 for Modbus/TCP
Length field	2	Number of remaining bytes in this frame
Unit identifier	1	Slave address (255 if not used)
Function code	1	Function codes as in other variants
Data bytes	n	Data as response or commands

Rysunek: Instrukcje protokołu dla TCP/IP [9]

Ethercat

- ▶ Wykorzystuje np. 100BASE-Tx
- ▶ Prędkości rzędu kilku kH
- ▶ Jeden master
- ▶ Węzły slave to wyspecjalizowane urządzenia
- ▶ Jitter < 1 us
- ▶ Dowolna topologia (najpopularniejsza szeregowa)
- ▶ W każdym cyklu master inicjuje przesyłanie ramki przechodzącej przez wszystkie węzły
- ▶ Ciągła synchronizacja czasu
- ▶ PDO synchroniczne i asynchroniczne
- ▶ Broadcast
- ▶ CoE, EoE, DS 301, ...

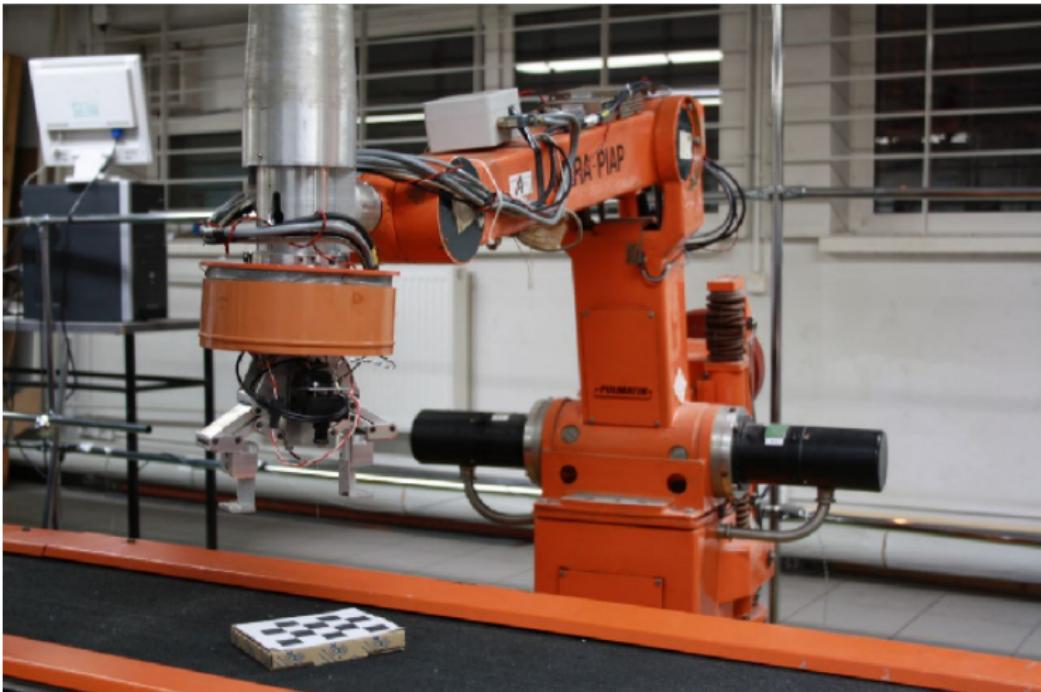
Serwonapęd

- ▶ Ethercat lub światłowód
- ▶ Połączenie z enkoderami (pary różnicowe)
- ▶ Stopień mocy
- ▶ Wejścia cyfrowe
- ▶ Wyjścia cyfrowe



Rysunek: Serwonapędy i silniki

IRp-6



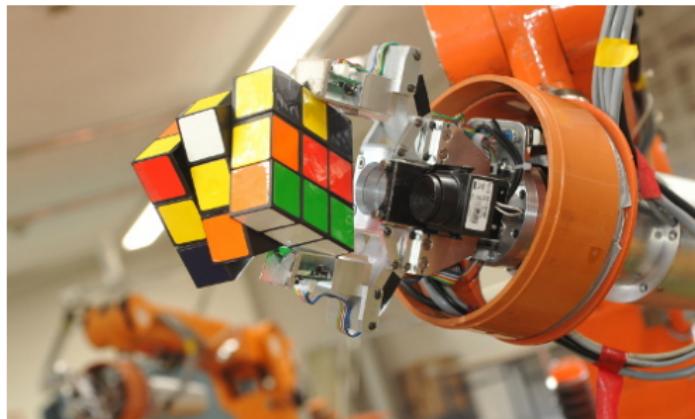
Rysunek: Robot IRp-6

- ▶ RTLinux
- ▶ Orocos
- ▶ ROS

- ▶ EtherCAT
- ▶ CAN
- ▶ RS-485
- ▶ Interfejsy A/C i C/A
- ▶ Szyny zasilające

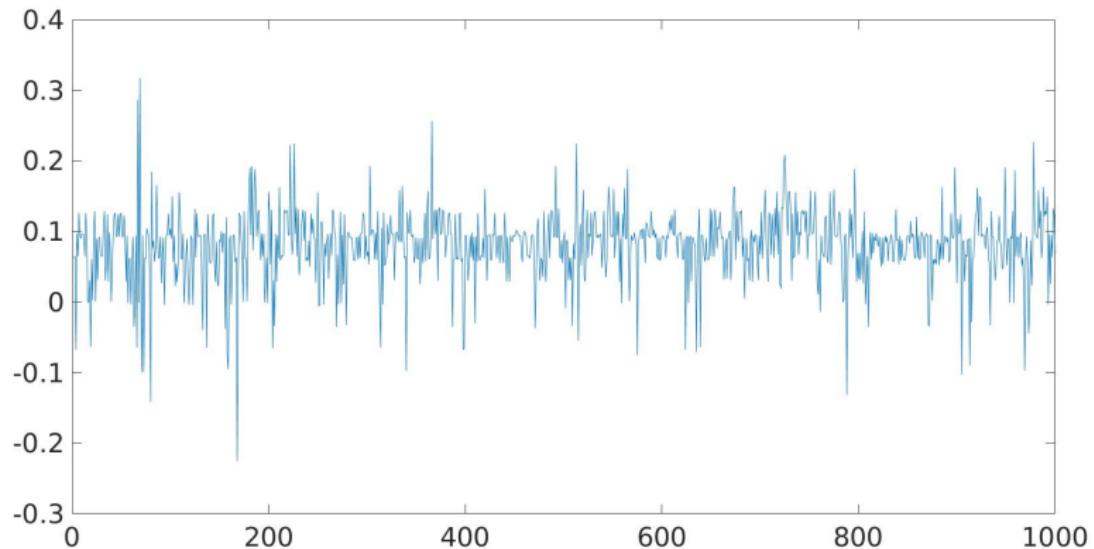
Czujnik siły

- ▶ Zasilanie -15 V; +15 V
- ▶ Zasilanie 5 V
- ▶ Analogowy sygnał opisujący pomiar siły
- ▶ Multiplekser wybierający kanał pomiaru



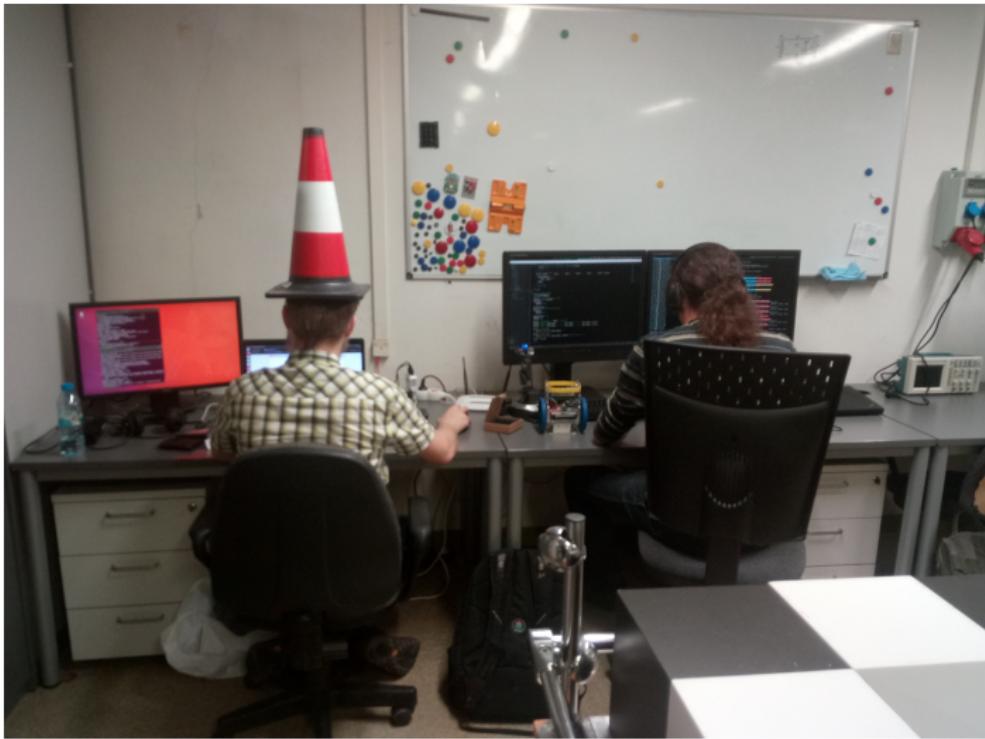
Rysunek: Chwytak robota IRp-6

Co zrobiliśmy źle?



Rysunek: Odczyt siły w osi X

Jak to poprawić?



Rysunek: Dwóch studentów męczących się dopiero drugi semestr z pracą inżynierską. Zdjęcie poglądowe.

Za chwilę dalszy ciąg programu

- ▶ Hyper Transport
- ▶ Gigavision
- ▶ NFC
- ▶ Wireless Sensor Network
- ▶ Telekomunikacja
- ▶ RTOS
- ▶ Sterowniki urządzeń
- ▶ Bezpieczeństwo
- ▶ ROS

Bibliografia I

- [1] Bandwidth.
- [2] Can.
- [3] Can basics.
- [4] Dell e7440 schematics.
- [5] footnote-reference-using-european-system.
- [6] I2c.
- [7]Ipv4.
- [8] Mlt-3.
- [9] Modbus.
- [10] Nrzi.
- [11] Optical fiber connector.

Bibliografia II

- [12] Rs-232.
- [13] Rs-232/eia-232 null modem cable.
- [14] Rs-485 connections faq.
- [15] Rs-485. recommended standard 485. electrical characteristics of generators and receivers for use in balanced multipoint systems.
- [16] System czasu rzeczywistego.
- [17] Techniki światłowodowe.
- [18] Transceptor.
- [19] Usb connectors.
- [20] Usb pinout.
- [21] Warstwa fizyczna sieci ethernet.

Bibliografia III

[22] Wzmacniacz operacyjny.

Dziękuję za uwagę

