

Sieci specjalnego przeznaczenia

Literatura

- Czasopisma (Elektronika Praktyczna, Elektronik, Automatyka itp.)
- Mackay S., Wright E., Reynders D., Park J.: *Industrial Data Networks*, Elsevier, Newnes, 2004
- Mielczarek W.: *Szeregowe interfejsy cyfrowe*, Helion, Gliwice, 1993
- Nawrocki W.: *Rozproszone systemy pomiarowe*, WKŁ, Warszawa, 2006

Plan wykładu

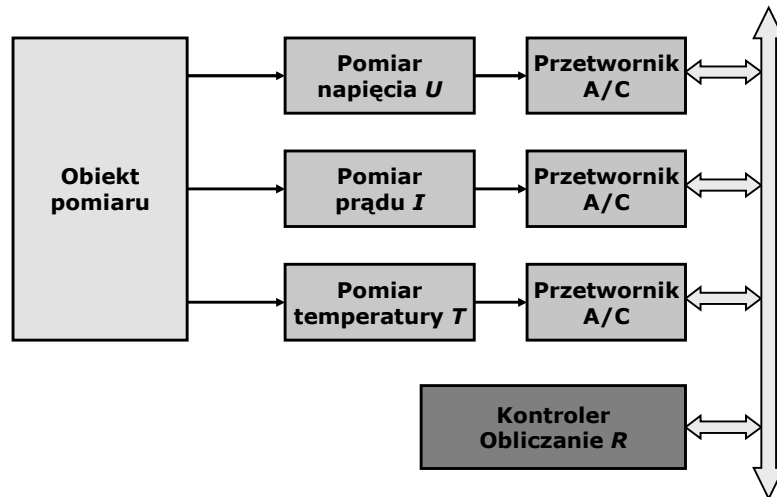
- Rozproszone systemy pomiarowe i sieci przeznaczenia specjalnego
- Dynamika systemów pomiarowych
- Zakłócenia systemów pomiarowych
- EIA-232C - parametry elektryczne
- EIA-485

Systemy pomiarowe <=> Sieci przemysłowe

- System rozproszony a nierozproszony
 - umowna granica:
 - urządzenia w większej liczbie pomieszczeń niż jedno
 - odległość między przyrządami w systemie jest większa niż długość kabla interfejsowego
- Rozproszony system pomiarowy (RSP) a rozproszony system informatyczny (RSI)
 - RSI może służyć do transmisji danych RSP
 - Kompromis między szybkością transmisji a stopą błędów transmisji

Dynamika systemów pomiarowych (1)

- Pośredni pomiar R w systemie pomiarowym $\{R=f(U,I,T)\}$



5/30

Dynamika systemów pomiarowych (2)

- Systemy pomiarowe czasu rzeczywistego: czas powtarzania krótszy niż 0,1 s lub 1 s w pomiarach pośrednich
- Dynamika zależy od następujących czynników:
 - czasu przetwarzania i rozdzielczości A/C
 - szybkości transmisji magistrali
 - organizacji transmitowanych komunikatów
 - algorytmu przetwarzającego komunikaty interfejsu
 - długości magistrali
 - liczby punktów pomiarowych
 - szybkości samego kontrolera (np. PC lub mikrokontrolera)

6/30

Dynamika systemów pomiarowych (3)

- RSP -> transmisja szeregowo

$$T=f(T_d, L_r, T_p)$$

T_d - czas transmisji danych

L_r - objętość ramki

T_p - czas propagacji

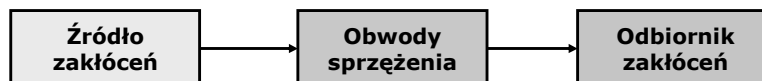
$$T_p \ll T_d, l < 1\text{km}; \quad l - \text{długość magistrali}$$

$$1\mu\text{s} \rightarrow 300 \text{ m}$$

$$T_p = l/v = 1000\text{m}/2 \times 10^8 \text{ m/s} = 5 \mu\text{s}$$

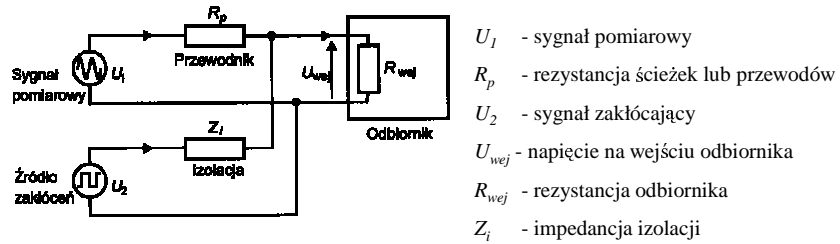
Zakłócenia systemów pomiarowych (1)

- obwody impedancyjne
- obwody wspólnej rezystancji
- obwody sprzężenia elektromagnetycznego



Zakłócenia systemów pomiarowych (2)

- Oddziaływanie zakłóceń na odbiornik przez impedancyjny obwód sprzężenia



Na przykład:

$$R_p \approx 100 \text{ m}\Omega$$

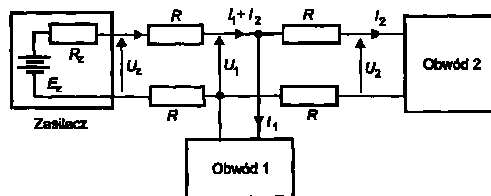
$$R_{wej} \approx 1 \text{ M}\Omega$$

$$Z_i \approx 100 \text{ M}\Omega$$

$$f \nearrow \rightarrow Z_i \searrow$$

Zakłócenia systemów pomiarowych (3)

- Oddziaływanie zakłóceń na odbiornik przez wspólną rezystancję obwodu zasilania



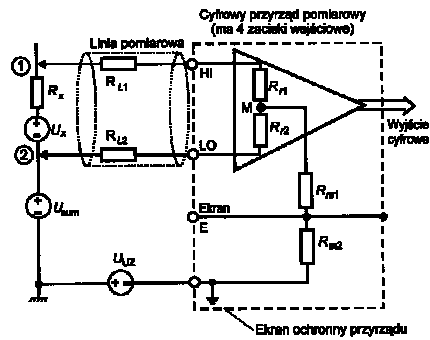
Rozdzielenie "masy" analogowej od cyfrowej lub całego obwodu zasilania

Zakłócenia systemów pomiarowych (4)

- Oddziaływanie pola elektromagnetycznego lub elektrycznego

—często 4 zaciski

- LO
- HI
- uziemienie
- Ekran (*Guard*)



M - masa wirtualna przyrządu

$R_{r1} + R_{r2}$ - rezystancja wejściowa przyrządu

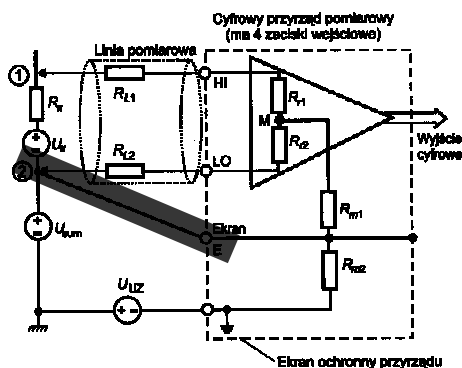
R_{m1}, R_{m2} - rezystancje między masą wirtualną, a ekranem lub punktem odniesienia ($< 1 \Omega$)

R_{L1}, R_{L2} - rezystancje przewodów linii pomiarowej ($0,1 \div 10 \Omega$)

11/30

Zakłócenia systemów pomiarowych (4)

- Podłączenie ekranu: minimalizacja prądu sumacyjnego rodzaju pracy płynącego przez rezystancje wejściowe



Przyrząd pomiarowy bez ekranu: przez R_{L1} , R_{r2} , R_{M1} , R_{M2} płynie prąd zakłócający od źródła napięcia wspólnego U_{sum} i różnicy potencjałów uziemienia U_{UZ} .

Przy połączeniu ekranu z zaciskiem uziemienia prąd popłynie przez R_{L2} , R_{r2} , R_{M1} .

Przy połączeniu jak na rys. źródła U_{sum} i U_{UZ} są zwierane do masy i nie oddziałują na obwód wejściowy odbiornika

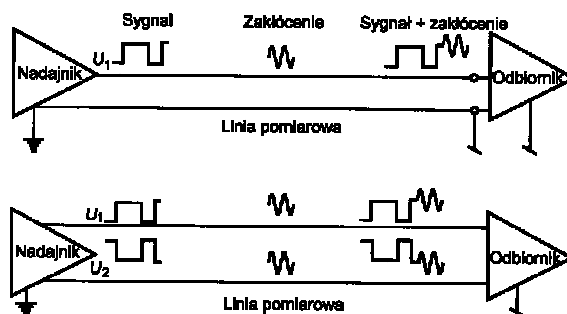
12/30

Zakłócenia w linii pomiarowej

- Kabel koncentryczny
- Skrętka telefoniczna nieekranowana
- Para przewodów nieskręconych (np. wykorzystanie instalacji elektroenergetycznej do transmisji komunikatów pomiarowych)

Różnicowy obwód wejściowy

- W instalacjach przemysłowych różnice potencjałów w oddalonych punktach mogą być większe od 10V



$$U_{wy} = U_1 - U_2$$

$$U_{we} = (U_1 + U_{zak}) - (U_2 + U_{zak}) = U_1 - U_2$$

Zjawiska falowe w linii pomiarowej

- Dla linii o dł. kilkudziesięciu metrów -> zjawiska falowe linii "długiej"
- Tłumienie sygnału
 - droga sygnału, częstotliwość, jakość kabla
 - możliwość uwzględnienia i korekcji
- Modułacje cyfrowe -> strome impulsy napięciowe
 - zafalowania i przepięcia sygnału -> stany nieustalone w linii RLC
 - odbicia dla linii zwartej lub rozwartej

15/30

Zjawiska falowe w linii pomiarowej

- Przykłady
 - RS-232C -> stromość impulsów do 30 V/ μ s
 - Ciąg impulsów 1/0/1/0/.... transmitowany z szybkością 10 Mb/s -> sygnał prostokątny o $f_s=5$ MHz

$$v = 2 \times 10^8 \text{ m/s}$$

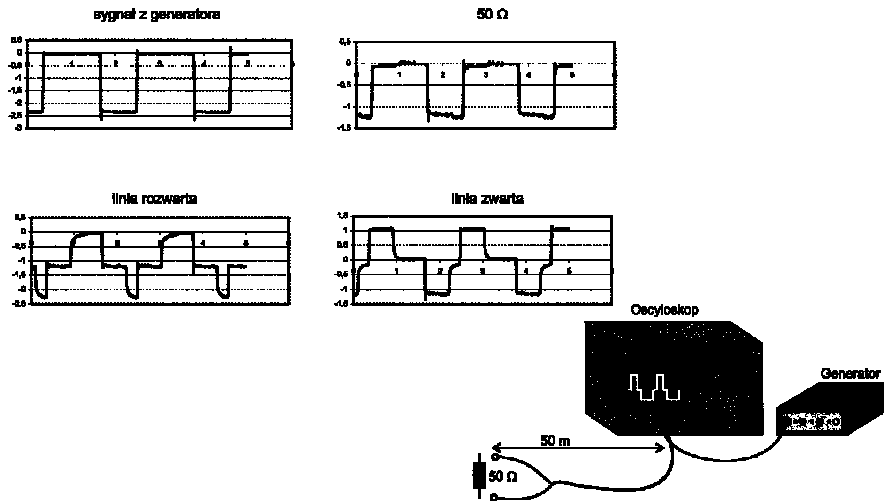
$$\lambda = v/f_s = 40 \text{ m}$$

Zjawiska falowe dla $\lambda/4$, $\lambda/2$, itd.

16/30

Zjawiska falowe w linii pomiarowej

- Przykład odbicia i układ pomiarowy



17/30

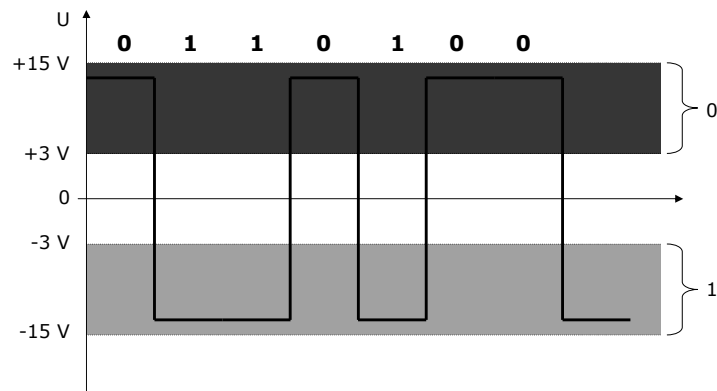
EIA-232 (RS-232C)

- RS - *Recommended Standard*
- EIA - *Electronic Industries Association*
- TIA - *Telecommunications Industries Association*
- ITU - *International Telecommunication Union*
- Obecna wersja: EIA/TIA-232E (1991) -> ITU V.24, ITU V.28, ISO 2110
- PN-75/T-05052

18/30

RS-232C

- Parametry elektryczne



19/30

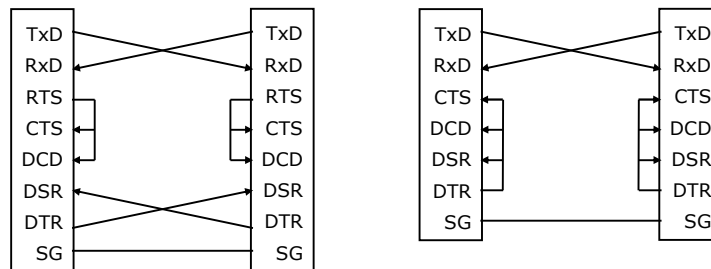
RS-232C

- Logika ujemna
- 1-> ON, True
- 0-> OFF, False
- Duży zakres napięć -> odporność na zakłócenia
- Zasięg normatywny 15 m
- Rezystancja obciążenia od 3 k Ω do 7 k Ω
- Pojemność obciążenia do 2500 pF
- Szybkość zmian do 30 V/ μ s
- Czas trwania stanów przejścia do 3% T_b

20/30

RS-232C

- Transmisja asynchroniczna znakowa



21/30

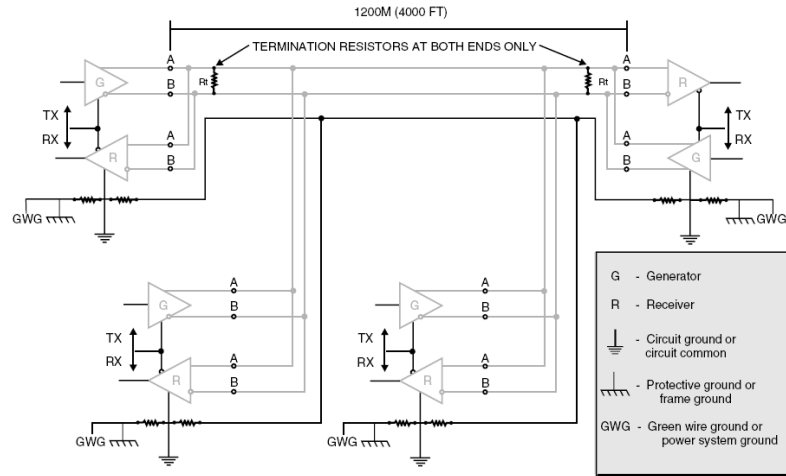
EIA-485

- EIA-485A <- EIA-422
- Odległość do 1200 m -> 90 kb/s (EIA-422)
- Prędkość do 10 Mb/s -> 6 m
- Do 32 sterowników dla wspólnej linii
- Do 32 odbiorników na tej samej linii
- 2 linie różnicowe A (A-, TxA, Tx+), B (B+, TxB, Tx-)
- 1, 0, Z
- 1: -1,5 V ÷ -6 V
- 0: 1,5 V ÷ 6 V

22/30

EIA-485

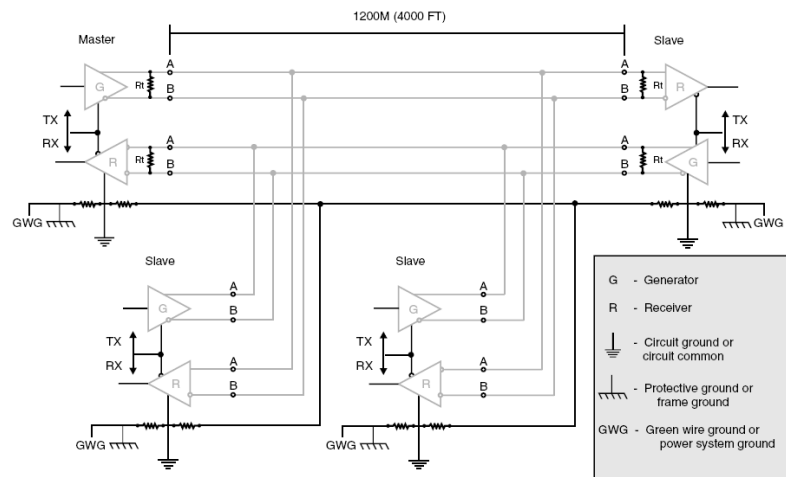
• Typowe połączenie dwuprzewodowe



23/30

EIA-485

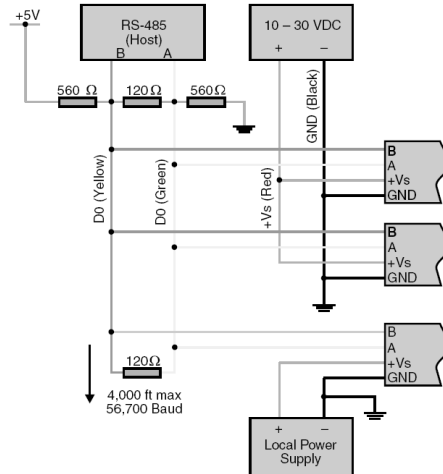
• Typowe połączenie czteroprzewodowe



24/30

EIA-485

- Minimalizacja szumów



EIA: porównanie standardów

Parametr	RS-232C	RS-423A	RS-422A	RS-485
Rodzaj transmisji	Nieasymetryczna	Nieasymetryczna	Różnicowa	Różnicowa
Dopuszczalna ilość nadajników i odbiorników	1 Nadajnik 1 Odbiornik	1 Nadajnik 10 Odbiorników	1 Nadajnik 10 Odbiorników	32 Nadajniki 32 Odbiorniki
Maksymalna długość kabla [m]	15	1200	1200	1200
Maksymalna szybkość transmisji [b/s]	20 k	100 k	10 M	10 M
Maksymalne napięcie wspólne	± 25 V	± 8 V	+ 6 V - 0.25 V	+ 12 V - 7 V
Wyjście nadajnika	± 5 V min ± 15 V max	± 3.6 V ± 6.0 V	± 2 V min	± 1.5 V min
Obciążenie nadajnika	3 kΩ do 7 kΩ	450 Ω min	100 Ω min	60 Ω min
Szybkość zmian napięcia na wyjściu nadajnika	30 V/μs max	starożmiennie		
Ograniczenie prądu zwrotnego nadajnika	500 mA przy zwarcu do V _{cc} lub GND	150 mA przy zwarcu do GND	150 mA przy zwarcu do GND	160 mA przy zwarcu do GND 850 mA przy zwarcu do -15V lub 12V
Rozytnienie wyjściowe nadajnika - wysoki impedancja	Zasilanie złączone			120 kΩ
	Zasilanie wyłączone	300 Ω	60 kΩ	60 kΩ
Rozytnienie wejściowe odbiornika	3 kΩ do 7 kΩ	4 kΩ	4 kΩ	12 kΩ
Charakterystyka odbiornika	± 3 V	± 200 mV	± 200 mV	± 200 mV

RS-232 - pętla prądowa

- Standard -> mały zasięg (15 m)
- Wydłużenie toru -> wzrost wrażliwości na zakłócenia sprzężone indukcyjnie -> wzrost liczby błędów
- Różnica potencjałów uziemień

- Pętla prądowa 20 mA (20 mA loop), moduł dalekopisowy (TTY module)
- Funkcja ekspandera zasięgu interfejsu RS-232C
- Ochrona przed uszkodzeniem -> izolacja galwaniczna
- Łączenie urządzeń przemysłowych i sprzętu komputerowego

27/30

RS-232 - pętla prądowa

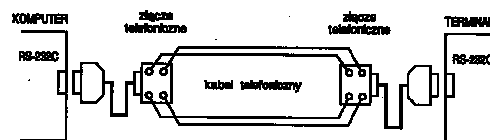
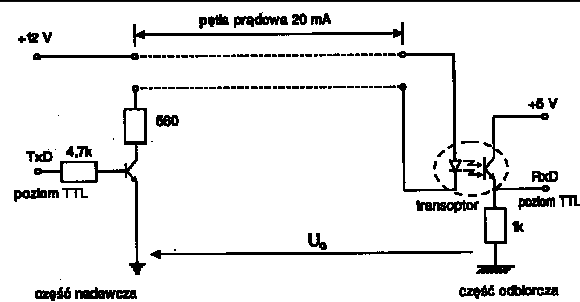
- Brak sygnałów sterujących
- Dwie pary przewodów dla transmisji (TxD) i odbioru (RxD)
- Format danych taki jak w RS-232C
- "1" -> prąd 20 mA
- "0" -> brak prądu
- Możliwość zasilania z zacisków DTR lub RTS (ok. 10 V)

28/30

RS-232 - pętla prądowa

- Zasięg
 - 4000 m -> 9600 bd
 - 1500 m -> 19200 bd
 - 500 m -> 38400 bd
- Norma od strony łączonych urządzeń RS-232C
- Napięcie optoizolacji 400 V
- Kabel połączeniowy: 4 żyły (2 pary skręcone)
- Zasilanie z linii DTR i RTS interfejsu
- Wykonanie w postaci obwodu zamkniętego w obudowie DB9

RS-232 - pętla prądowa



IEEE-488

Modułowe systemy pomiarowe

Nawrocki W.: Rozproszone systemy pomiarowe, WKŁ, Warszawa, 2006

Interfejsy równoległe

- Transmisja równoległa szybsza od szeregowej
 - Centronics 4 bity
 - VXI 32 bity
- Brak konieczności podziału potoku bitów na słowa (procedury kontrolne i korekcyjne)
- Interfejs równoległy -> pow. od kilku do kilkudziesięciu m²
- Tylko linia przewodowa!

- Standard IEEE-488
- VXI
- PXI

Przeznaczenie i parametry IEEE-488

- Hewlett-Packard -> HPIB (ang. *Hewlett-Packard Interface Bus*) -> 1965-1970
- HPIB -> norma IEEE-488 (1975 r.)
- IEC-625 (*International Electrotechnical Commission*) -> 1976r.
- IEEE-488 -> GPIB (ang. *General Purpose Interface Bus*) -> Tektronix, National Instruments
- IEC-625 -> PN-83/T-06536

- IEEE-488 i IEC-625 -> różnica okablowania i złącza interfejsu, funkcjonalność i sterowanie bez zmian

- Standard określa organizację wymiany danych cyfrowych, parametry elektryczne sygnałów, parametry mechaniczne złączy, podstawowe procedury programowe

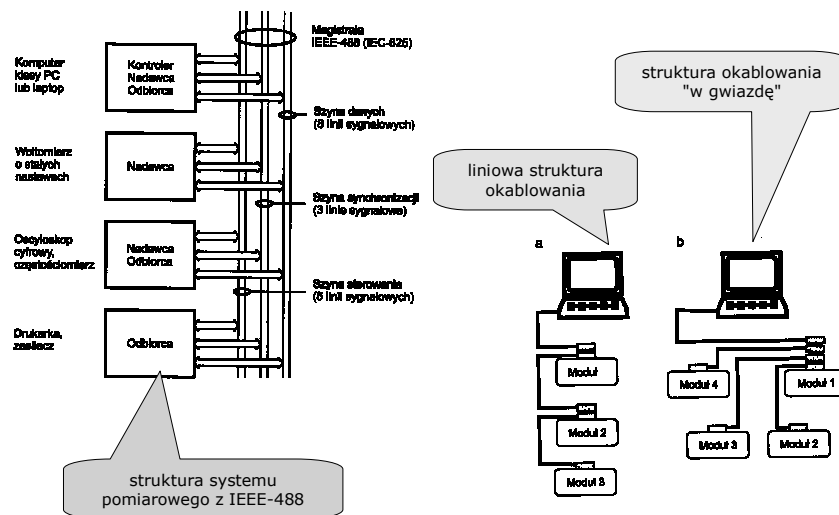
IEEE-488

- Przeznaczenie
 - łączenie przyrządów pomiarowych ogólnego przeznaczenia (multimetry cyfrowe, oscyloskopy cyfrowe, częstotłomierze, czasomierze, analizatory częstotliwości, analizatory stanów logicznych) oraz sprzęt specjalnego
 - łączenie sterowanych cyfrowo urządzeń eln. (np. generatory, zasilacze, sterowane źródła, przełączniki)
 - łączenie drukarek, ploterów, rejestratorów
 - łączenie urządzeń sterujących - kontrolerów

Konfiguracja IEEE-488

- Konfiguracja liniowa - magistralowa
- Funkcje
 - nadawca ("mówca") - *talker*
 - odbiorca ("słuchacz") - *listener*
 - kontroler
- Wymiana komunikatów -> rozkazy, adresy, dane
- Połączenie liniowe luba w gwiazdę
- Sposób połączenia -> parametry LC -> szybkość transmisji danych
- Kontroler -> komputer PC
- Możliwa liczba kontrolerów większa niż jeden -> tylko jeden w danej chwili może być aktywny
- Wyróżniony kontroler systemowy
- Możliwa praca bez kontrolera -> stała adresacja urządzeń jako nadajniki lub odbiorniki
- układy z więcej niż jednym kontrolerem -> rzadkość

Konfiguracja IEEE-488



Podstawowe parametry

- Równoległa, asynchroniczna transmisja informacji w postaci komunikatów 8 bitowych
- Transmisja w trybie *handshake* - z potwierdzeniem odebrania komunikatu. *Handshake* pozwala na dopasowanie prędkości transmisji do najwolniejszego odbiorcy.
- Sygnały na magistrali -> logika ujemna: 1 (T) - niski poziom napięcia, 0 (F) - poziom wysoki
- Maksymalna prędkość transmisji: 1MB/s (Megabajt/s)
- Maksymalna liczba urządzeń systemu: 15
- Kabel magistralowy: 24 linie (25 dla IEC-625)
- Długość maksymalna całkowita: 20 m
- Zalecana długość kabla między dwoma urządzeniami: 2 m
- HP (HPIB) i NI (GPIB) -> kabel i gniazda 24 stykowe
- Europa -> kable i gniazda 25 stykowe

Magistrala

- 24 linie
 - 16 linii sygnałowych w trzech szynach
 - szyna danych -> 8 linii
 - szyna sterowania -> 5 linii
 - szyna synchronizacji -> 3 linie
 - 8 linii masy + ekranowania
 - 7 linii masy
 - 1 linia ekranu
- IEC-625 -> 8 linii masy + 1 ekran

Szyna danych (*Data Bus*)

- 8 linii danych: DIO1 - DIO8 (*Data Input Output*)
- Przesyłanie komunikatów typu dane i typu instrukcje (adresy i rozkazy)
- Informacja o typie komunikatu dostępnego na szynie danych -> linia sterująca ATN
- Komunikaty przesyłane bajtami, dwukierunkowo, od nadawcy do odbiorców, z potwierdzeniem gotowości do przyjęcia i potwierdzeniem odebrania
- 7 bitowy kod ACII
- 8 bit - > kontrola parzystości lub niewykorzystany

Szyna sterowania (*Interface Management Bus*)

- **IFC** (*InterFace Clear*) - zerowanie interfejsu, sterowana przez kontroler
 - po włączeniu zasilania kontroler podaje na IFC stan 1 na czas nie krótszy niż 100 μ s, sprowadzając urządzenia do stanu początkowego, po zakończeniu zerowania -> stan 0
- **ATN** (*ATeNtion*) - uwaga na typ komunikatu
 - 1 -> komunikaty na szynie danych to instrukcje (adresy lub rozkazy)
 - 0 -> komunikaty na szynie danych to dane
- **REN** (*Remote ENable*) - możliwa obsługa zdalna, sterowana przez kontroler
 - 1 -> obsługa automatyczna lub zdalna
 - 0 -> lokalna obsługa nastaw urządzenia

Szyna sterowania (*Interface Management Bus*)

- **SRQ** (Service ReQuest) - żądanie obsługi, ustawiana przez dowolne urządzenie. Może być uważana za linię zgłaszania przerwań: np. zgłoszenie przekroczenia zakresu pomiarowego lub zmiany nastaw do kolejnego kroku procedury pomiarowej
- **EOI** (*End Or Identify*) - koniec lub identyfikacja, sterowana przez kontroler lub nadawcę
 - ATN=0 (transmisja danych) -> EOI=1 - koniec segmentu danych
 - ATN=1 (transmisja instrukcji) -> EOI=1 - równoległa kontrola urządzeń (np. sprawdzenie statusu)

Szyna synchronizacji (*Interface Handshake Bus*)

- Synchronizacja nie oznacza transmisji synchronicznej w takt impulsów zegarowych, a raczej koordynację transmisji
- Koordynacja odbywa się asynchronicznie w trybie *handshake*
- **DAV** (*DA*tA *VA*lid) - ważne dane; linia sterowana przez nadawcę
- **NRFD** (*Not Ready For Data*) - niegotowe do odbioru danych; linia sterowana przez wszystkich odbiorców zaadresowanych do odbierania
 - NRFD=1 -> urządzenie nie jest jeszcze gotowe do przyjęcia danych; z uwagi na logikę ujemną wystarczy, że jedno z urządzeń zgłosi brak gotowości -> cała linia na poziomie niskim -> NRFD=1
 - NRFD=0 -> gotowość wszystkich urządzeń
- Z powodu potencjalnej różnicy pomiędzy stanem logicznym komunikatów wysłanych przez część urządzeń (**0**), a stanem odebranych (**1**) -> pojęcie logicznej wartości aktywnej i pasywnej komunikatów

Szyna synchronizacji (*Interface Handshake Bus*)

- **NDAC** (*Not Data ACcepted*) - dane nieodebrane; linia sterowana przez wszystkich zaadresowanych odbiorców
 - NDAC=1 -> urządzenie nie zakończyło procesu odbioru bajta; NDAC=1 przynajmniej jednego odbiorcy oznacza NDAC=1 dla całej linii
 - NDAC=0 -> wszystkie urządzenia zakończyły odbiór aktualnego bajta

Kabel i złącza interfejsu

- Okablowanie IEEE-488 i IEC-625

Nr zestyku	Linia		Nr zestyku	Linia	
	IEC-625	IEEE-488		IEC-625	IEEE-488
1	DIO 1	DIO 1	14	DIO 5	DIO 6
2	DIO 2	DIO 2	15	DIO 6	DIO 7
3	DIO 3	DIO 3	16	DIO 7	DIO 8
4	DIO 4	DIO 4	17	DIO 8	REN
5	REN	EOI	18	masa (5)	masa (6)
6	EOI	DAV	19	masa (6)	masa (7)
7	DAV	NRFD	20	masa (7)	masa (8)
8	NRFD	NDAC	21	masa (8)	masa (9)
9	NDSC	IFC	22	masa (9)	masa (10)
10	IFC	SRQ	23	masa (10)	masa (11)
11	SRQ	ATN	24	masa (11)	masa cyfrowa
12	ATN	Ekran	25	masa (12)	—
13	Ekran	DIO 5		—	

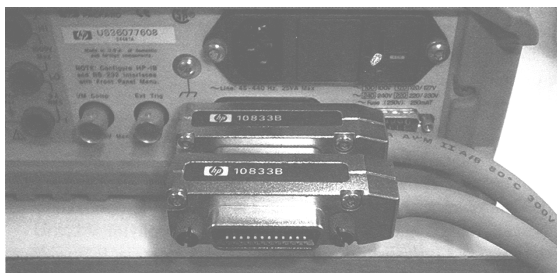
Kabel i złącza interfejsu

- Łączna długość kabla interfejsu: 20 m
- Długość kabla między urządzeniami: 4 m, zalecana: 2 m
- Rezystancja przewodów kabla: $<140 \text{ m}\Omega/\text{m}$
- Pojemność między każdą linią sygnałową a masą $<150 \text{ pF}/\text{m}$

- Złącze: konstrukcja szufladowa typu wtyczka-gniazdo
- Możliwość dołączenia wielu kabli do jednego gniazda w przyrządzie
- Parametry:
 - obciążalność styku: 5A
 - rezystancja styku maks. $20 \text{ m}\Omega$
 - rezystancja izolacji min. $1 \text{ G}\Omega$
 - liczba operacji złączanie/rozłączanie: min. 1000

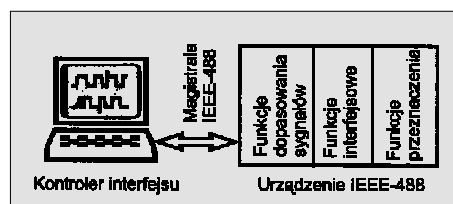
Kabel i złącza interfejsu

- Złącza do kabla interfejsowego IEEE-488



Funkcje interfejsowe

- Funkcja przeznaczenia urządzenia (np. woltomierz cyfrowy do systemu IEEE-488 itp.)
- Funkcja interfejsowa -> przyjmowanie i interpretacja oraz generowanie i wysyłanie komunikatów
- Funkcja dopasowania sygnałów -> poziomy napięcia, format i moc sygnałów za pośrednictwem układów kodowania i dekodowania oraz odbiorników i nadajników linii



Funkcje interfejsowe

- SH - *Source Handshake* - sterowanie wysyłaniem komunikatów
- T - *Talker* - nadajnik
- AH - *Acceptor Handshake* - sterowanie odbieraniem komunikatów
- L - *Listener* - odbiornik
- SR - *Service Request* - żądanie obsługi
- RL - *Remote/Local* - zdalne/lokalne
- PP - *Parallel Poll* - kontrola równoległa
- DC - *Device Clear* - zerowanie urządzenia
- DT - *Device Trigger* - wyzwalanie urządzenia
- C - *Controller* - kontroler

Przygotowanie urządzenia do wysyłania komunikatów

Sprawdzenie stanu urządzeń (maks. 8) -> linie DIO1-DIO8 przy SRQ=1

Komunikaty interfejsowe

- Komunikaty interfejsowe -> zarządzanie systemem interfejsu
- Komunikaty urządzeń -> przesyłane przez interfejs, ale nie wykorzystywane bezpośrednio ani nie przetwarzane przez system interfejsu
- Komunikaty zdalne
- Komunikaty lokalne

Wynik wysłania na magistralę komunikatów jednoliniowych o różnej wartości logicznej (1 lub 0)

- aktywny prawdziwy **T** - *active true*
- pasywny prawdziwy **(T)** - *passive true*
- aktywny fałszywy **F** - *active false*
- pasywny fałszywy **(F)** - *passive false*

Podział funkcjonalny komunikatów

- adresy **AD** (*ADdress*)
- rozkazy uniwersalne **UC** (*UnivErsal Command*)
- rozkazy adresowane **AC** (*ADdressed Command*)
- instrukcje synchronizacji **HS** (*HandShake*)
- komunikaty wtórne **SE** (*SEcondary*)
- komunikaty zależne od urządzenia **DD** (*DevIce Dependent*)
- komunikaty statusu urządzenia **ST** (*STatus*)

Struktura wieloliniowych komunikatów zdalnych

Nazwa grupy komunikatów	Stan logiczny linii DIO							
	DIO 8	DIO 7	DIO 6	DIO 5	DIO 4	DIO 3	DIO 2	DIO 1
Adresy do odbioru	∅	0	1	I ₅	I ₄	I ₃	I ₂	I ₁
Adresy do nadawania	∅	1	0	T ₅	T ₄	T ₃	T ₂	T ₁
Rozkazy uniwersalne	∅	0	0	1	U ₄	U ₃	U ₂	U ₁
Rozkazy adresowane	∅	0	0	0	A ₄	A ₃	A ₂	A ₁
Komunikaty wtórne	∅	1	1	S ₅	S ₄	S ₃	S ₂	S ₁

Komunikaty zdalne - rozkazy uniwersalne

- Komunikaty zdalne
 - przeznaczone do wszystkich urządzeń w systemie interfejsu
 - przyjęcie przez urządzenie nie wymaga adresowania
- Rozkazy jednoliniowe:
 - **ATN** - uwaga
 - **IFC** - zerowanie interfejsu
 - **REN** - zdalne możliwe
 - **IDY** - identyfikacja
- Rozkazy wieloliniowe:
 - **DCL** (*Device Clear*) - zerowanie urządzeń
 - **LLO** (*Local Lock-Out*) - blokada nastaw lokalnych
 - **PPU** (*Parallel Poll Unconfigure*) - zniesienie kontroli równoległ.
 - **SPE** (*Serial Poll Enable*) - sprawdzenie szeregowo w odpowiedzi na SRQ
 - **SPD** (*Serial Poll Disable*) - zakończenie kontroli szeregowo

Komunikaty zdalne - rozkazy adresowalne

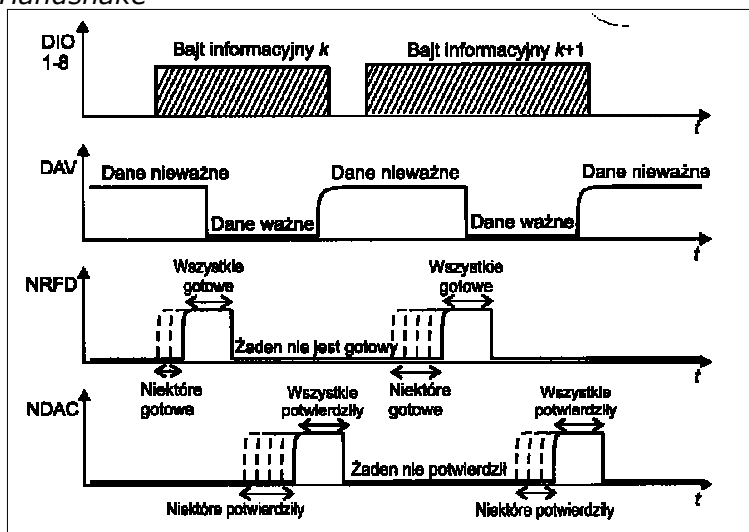
- Rozkazy wieloliniowe:
 - **SDC** (*Selective Device Clear*) - zerowanie urządzenia zaadresowanego do odbioru
 - **GTL** (*Go To Local*) - przejście do nastaw lokalnych
 - **GET** (*Group Execute Trigger*) - inicjacja pracy grupy urządzeń
 - **TCT** (*Take Control*) - przejęcie sterowania przez inny kontroler
 - **PPC** (*Parallel Poll Configure*) - adresowanie do kontroli równoległej - przypisanie konkretnemu urządzeniu jednej z 8 linii danych jako adres kontroli równoległej

Komunikaty

- Komunikat wtórny to komunikat przesyłany w dwóch bajtach zamiast w jednym
- Komunikaty zależne od urządzenia
 - DAB (*DATA Byte*) - bajt danych
 - NUL (*NULL byte*) - bajt zero
 - EOS (*End Of String*) - koniec łańcucha danych, (także komunikat jednoliniowy END na linii EOI)
- Komunikaty statusu - jednoliniowe
 - SRQ
 - END
- Komunikaty statusu - wieloliniowe
 - STB (*STATUS Byte*)
 - RQS (*ReQuest Service*)
 - PPR (*Parallel Poll Response*)

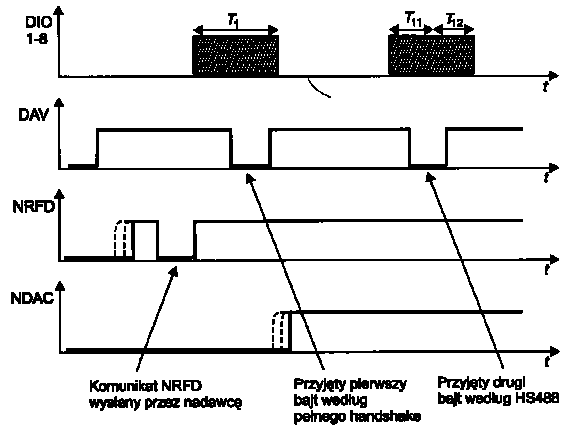
Synchronizacja transmisji komunikatów

- *Handshake*



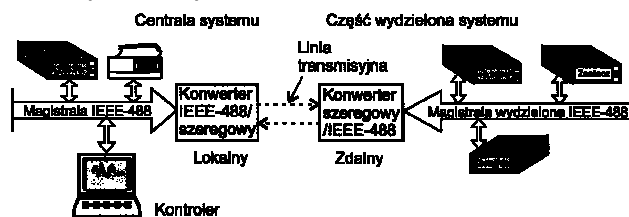
Poprawa parametrów - protokół HS488

- Uproszczony tryb transmisji w odniesieniu do danych
- Po przyjęciu przez odbiorców pierwszego bajta danych wg pełnego trybu *handshake*, następne bajty są przyjmowane bez zgłaszania gotowości urządzeń komunikatem RFD i bez potwierdzania bajta odebrania komunikatem DAC

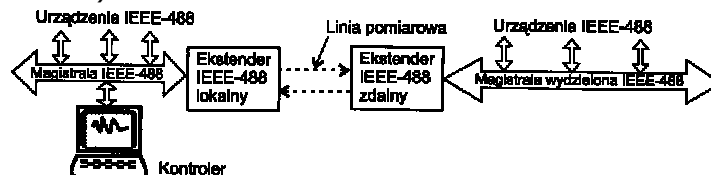


Rozproszony system pomiarowy IEEE-488

- System rozproszony

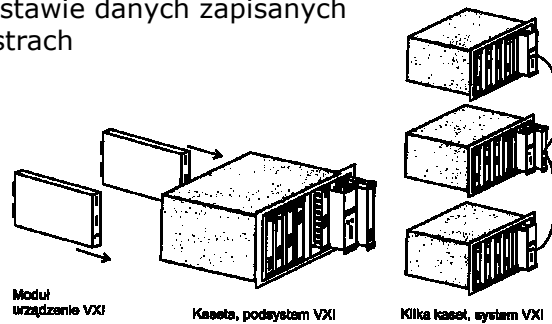


- System rozproszony z ekstenderami (maks. 2 km, światłowód)



System pomiarowy VXI

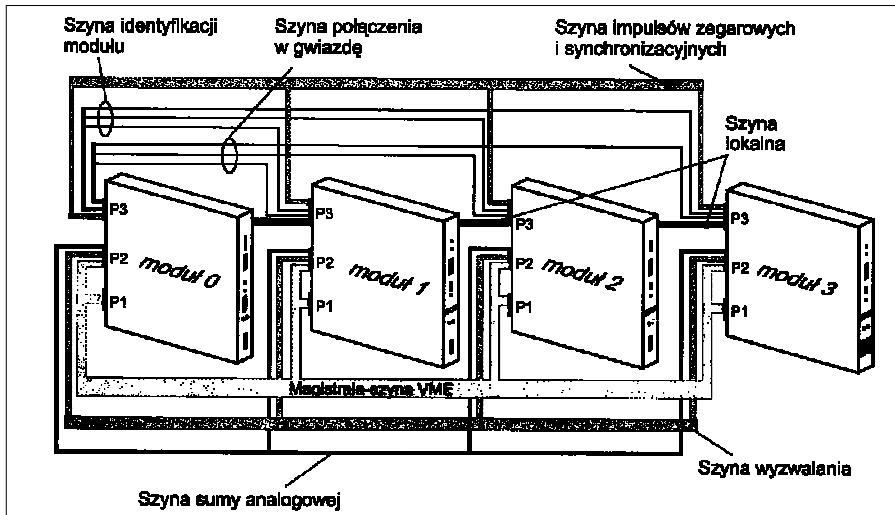
- VXI -> 1987 rok (Hewlett-Packard, Tektronix) jako adaptacja i rozszerzenie interfejsu VME (*Virtual Machine Environment*) do zadań pomiarowych
- Struktura hierarchiczna
- Możliwość autokonfiguracji za pomocą kontrolera na podstawie danych zapisanych w rejestrach



System pomiarowy VXI

- Magistrala ogólnego przeznaczenia
 - magistrala-szyba VXE
 - szyna zasilania
 - szyna wyzwiania
 - szyna sumy analogowej
- magistrala specjalna
 - szyna sygnałów zegarowych i synchronizacyjnych
 - szyna identyfikacji modułu
 - szyna połączenia w gwiazdę
- magistrala wydzielona utworzona przez szynę lokalną

System pomiarowy VXI



Wykład 2

29/32

Modułowy system pomiarowy PXI

- 1997 rok -> National Instruments
- PXI -> *PCI eXtensions for Instrumentation*

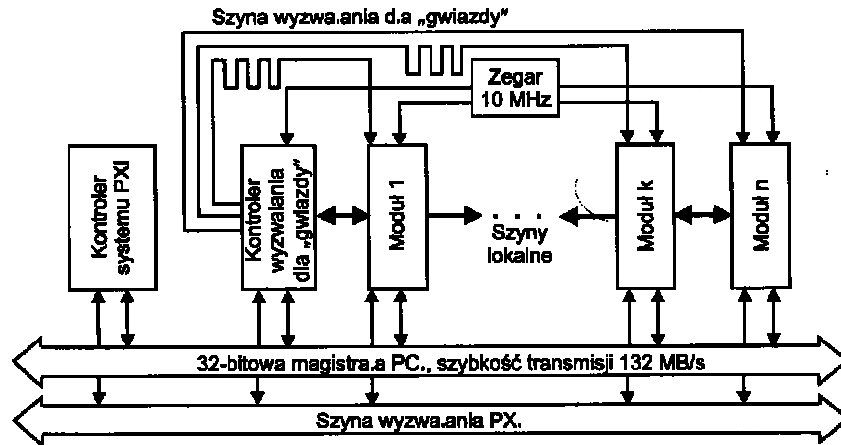


Wykład 2

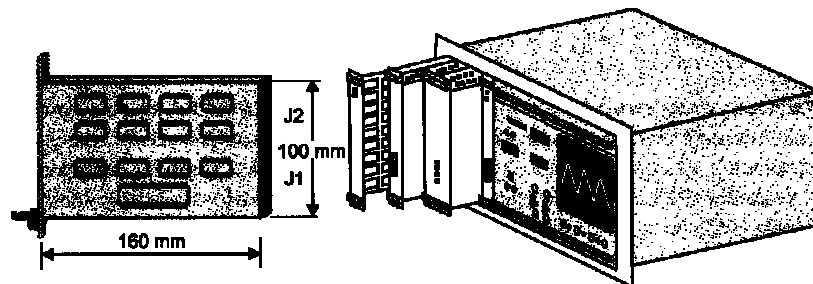
30/32

Modułowy system pomiarowy PXI

- Magistrala systemu PXI



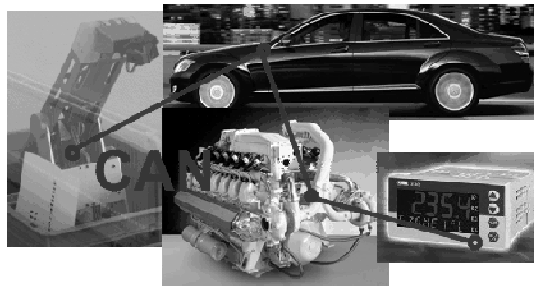
Modułowy system pomiarowy PXI



Magistrala CAN

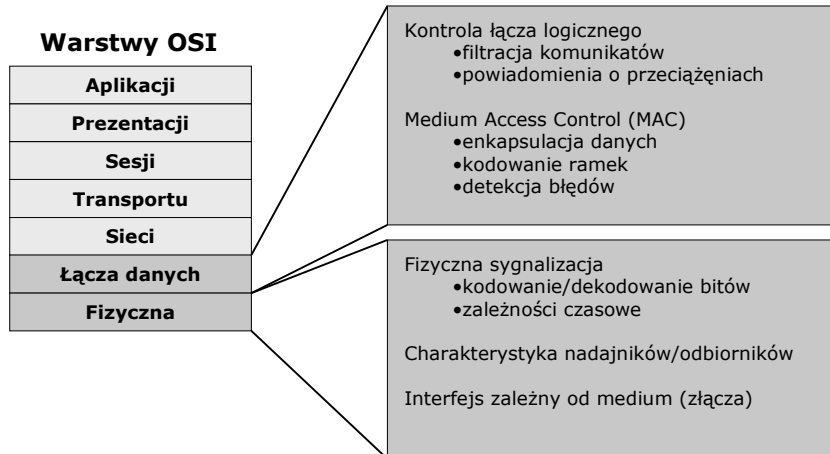
CAN

- CAN -> **C**ontroller **A**rea **N**etwork
- Najbardziej efektywnie "ustandaryzowany" protokół komunikacyjnych
- Zaprojektowany przez Boscha 1 latach '80 w celu ustanowienia standardu oraz redukcji kosztów oraz masy okablowania w pojazdach samochodowych
- Dziś -> motoryzacja i sterowanie przemysłowe



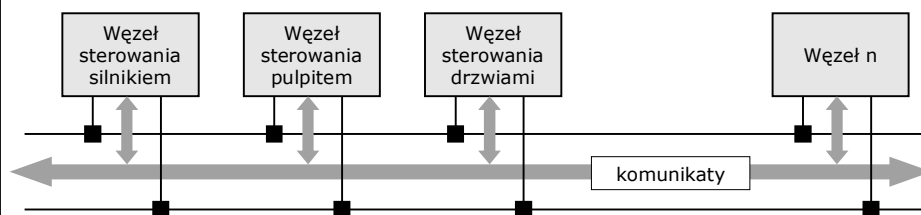
CAN-przegląd

- CAN definiuje 2 najniższe warstwy spośród 7 warstw modelu OSI



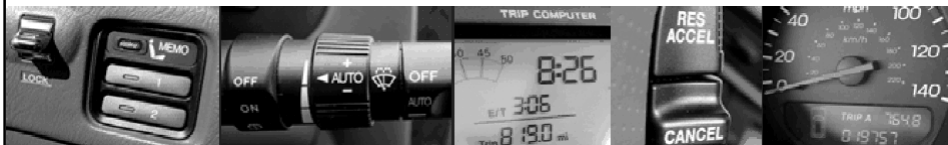
Sieci CAN

- Sieć CAN -> grupa węzłów (stacji)
- Każdy węzeł może komunikować się z dowolnym innym węzłem
- Komunikacja realizowana za pomocą wysokowydajnych komunikatów "Messages"
- Zdefiniowana prędkość transmisji -> do 1Mbit/s



Funkcje i możliwości węzłów CAN

- Węzeł stanowi podsystem, który może być dołączony do magistrali CAN
- Węzeł może być prosty lub skomplikowany
- Węzeł może przysyłać komunikaty w sposób "ciągły", np. sterownik prędkości obrotowej silnika
- Węzeł może przysyłać komunikat np. tylko w przypadku awarii -> kontrola temperatury
- Węzeł może podejmować działanie na żądanie innego modułu, np. elektroniczne sterowanie zaworami



Wykład 3

5/17

CAN - protokół CSMA/CD-CR

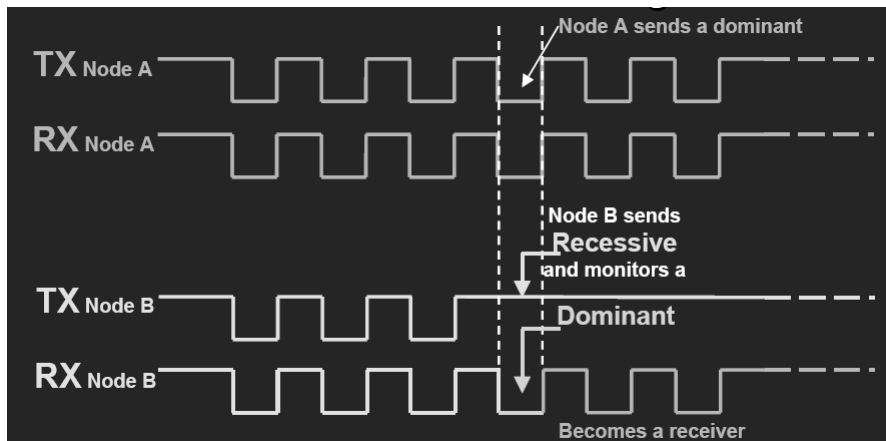
- **Carrier Sense (CS)** - każdy węzeł musi monitorować magistralę w celu wykrycia okresu nieaktywności przed wysłaniem komunikatu
- **Multiple Access (MA)** - po okresie nieaktywności magistrali, każdy węzeł ma możliwość wysłania komunikatu
- **Collision Detect (CD)** - jeśli dwa węzły dokonują transmisji w tym samym czasie, może wystąpić kolizja
- **Collision Resolution (CR)** - arbitraż bitowy nie niszczący

Wykład 3

6/17

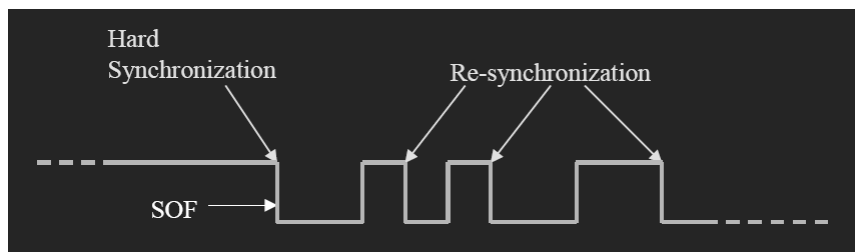
Arbitraż

- Węzeł (węzły), który utracił arbitraż, staje się odbiornikami i tylko odbierają komunikaty



CAN - synchronizacja

- Brak sygnału zegarowego w strumieniu bitów
- Odbiornik jest zsynchronizowany przy przejściu ze stanu recesywnego do stanu dominującego

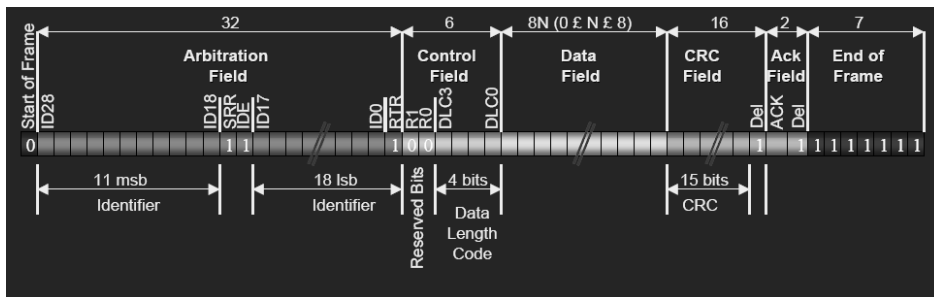


CAN - komunikaty

- Różne typy komunikatów (ramek)
- Ramka danych (Data Frame)
 - przesyłane z nadajnika do wybranego węzła lub do wszystkich węzłów
 - format standardowy lub rozszerzony
- Ramka zdalna (Remote Frame)
 - żądanie przesłania danych z innego węzła
 - format standardowy lub rozszerzony
- Ramka błędu (Error Frame)
 - sygnalizacja detekcji błędów

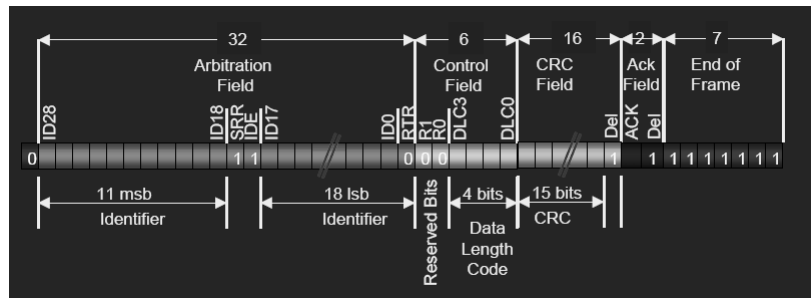
Ramka danych

- Standardowa -> identyfikator 11 bitowy
- Rozszerzona -> identyfikator 29 bitowy



Ramka zdalna

- Standardowa lub rozszerzona
- Identyczna z ramką danych za wyjątkiem pola danych
- bit RTR jest recesywny



Obsługa błędów

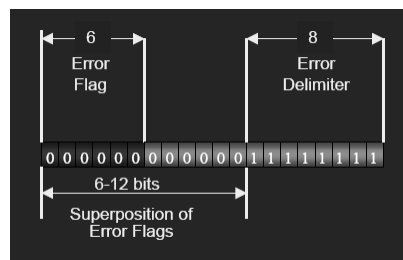
- W przypadku naruszenia protokołu generowane są różne typy ramek błędów
 - zapewnienie integralności komunikatów
- Ograniczenie błędów
 - Węzły CAN mogą przechodzić od normalnej pracy do stanu odłączenia od sieci
 - ograniczanie błędów chroni przed siecią przed ciągłym nadawaniem przez uszkodzone węzły

Obsługa błędów

- Błąd potwierdzenia
 - Węzeł nadający przesyła bit ACK jako recesywny i sprawdza czy nie został odebrany bit dominujący w celu kontroli poprawności odbioru
- Błędy CRC
 - Wszystkie węzły odbierają komunikaty, obliczają sumę kontrolną (CRC) i weryfikują z otrzymaną sumą kontrolną
- Błędy formalne
- powstają wówczas, gdy wykrywany jest bit dominujący zamiast oczekiwanego recesywnego (ogranicznik CRC, ogranicznik ACK, pole EOF lub pole wewnątrz ramkowe)
- Stuff Error
 - reguła bit stuffing jest naruszona, jeśli 6 kolejnych bitów posiada identyczną polaryzację
- Błąd wysłania bitu
 - węzeł wykrywa sygnał na magistrali, który ma inny stan niż bit wysłany

Ramka błędu

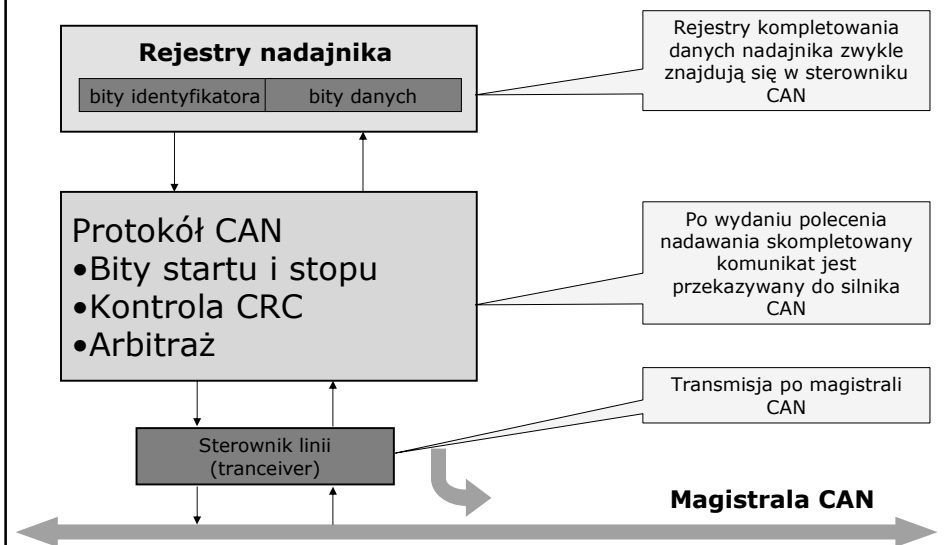
- Ramka błędu jest generowana w przypadku wykrycia jednego lub wielu typów błędów



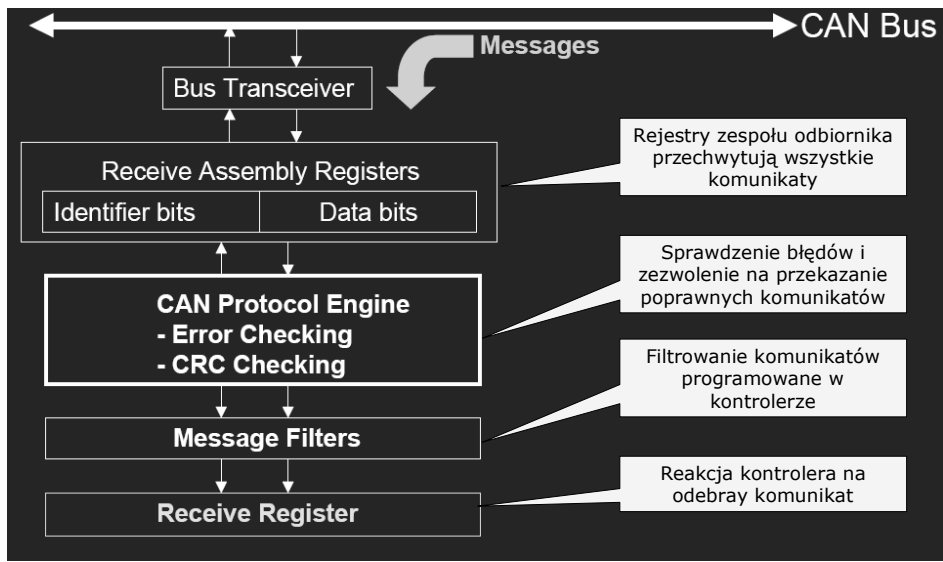
Działanie magistrali CAN

- Rozpoznawanie komunikatów
- Każdy węzeł powinien posiadać "rejestr filtra"
- Pole identyfikatora przychodzącego komunikatu jest porównywane z zawartością rejestru filtra w celu określenia akcji

Wysyłanie komunikatów



Odbieranie komunikatów



LIN - Local Interconnect Network

na podstawie LIN Specification Package Rev. 2.1, 24.11.2006

Cele LIN

- Koncepcja taniej sieci stosowanej w motoryzacji
- Uzupelnienie obecnych sieci motoryzacyjnych
- Jedno z ogniw implementacji hierarchicznych sieci wykorzystywanych w pojazdach
- Realizacja koncepcji wzrostu jakości i obniżania kosztów pojazdów
- Standaryzacja -> redukcja różnorodności rozwiązań, obniżenie kosztów projektowania, produkcji, serwisu i logistyki w elektronice samochodowej

Historia LIN

- LIN 1.0 rok 1999 Wersja początkowa specyfikacji
- LIN 1.1 rok 2000
- LIN 1.3 rok 2002
- LIN 2.0 rok 2003 Istotna zmiana wersji
- LIN 2.1 rok 2006 Wyjaśnienia, modyfikacja konfiguracji, rozszerzenie warstwy transportowej, diagnostyka

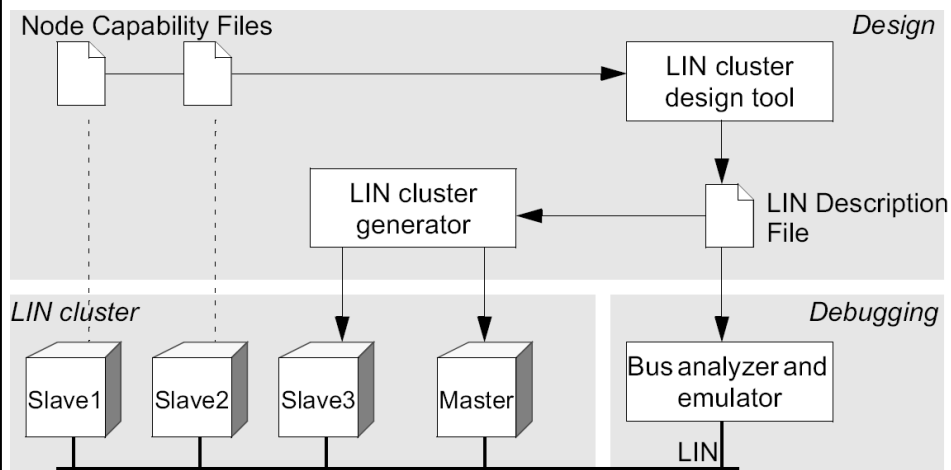
Zakres specyfikacji

- Protokół transmisyjny
- Medium transmisyjne
- Interfejs między narzędziami projektowymi i programistycznymi
- Wsparcie współpracy pomiędzy węzłami z punktu widzenia sprzętu i oprogramowania oraz odporności elektromagnetycznej

Cechy i możliwości

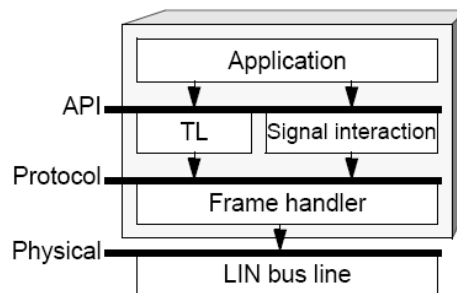
- Protokół komunikacji szeregowej
- Efektywne wsparcie sterowania węzłów mechatronicznych w rozproszonym środowisku
- Realizacja koncepcji pojedynczej jednostki nadrzędnej (MASTER) i wielu jednostek podrzędnych (SLAVE)
- niski koszt implementacji opartej na powszechnych układach UART/SCI
- synchronizacja bez rezonatora w węzłach SLAVE
- deterministyczna transmisja sygnałów
- implementacja jedнопrzewodowa
- prędkość do 20kbit/s
- interakcja między aplikacjami oparta na sygnałach
- rekonfigurowalność

LIN work flow



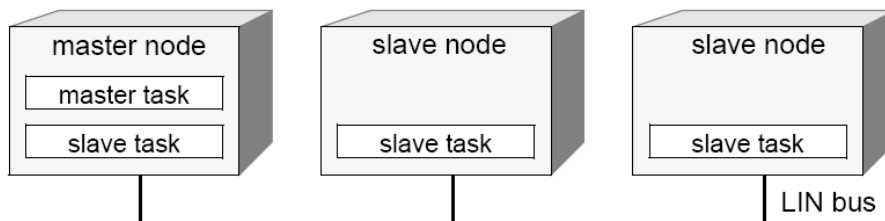
Koncepcja węzła

- Węzeł w klastrze stanowi interfejs do fizycznego połączenia za pomocą transceivera
- Ramki nie są osiągalne w aplikacji bezpośrednio
- Warstwą pośrednią stanowi warstwa interakcji sygnałów
- Pomiędzy aplikacją a obsługą ramek znajduje się warstwa transportowa



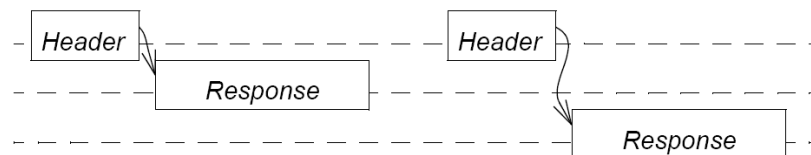
Zasada działania

- Klaster składa się z jednego Mastera i wielu modułów Slave
- Węzeł Master realizuje zadania Master oraz Slave
- Jeden węzeł może uczestniczyć w więcej niż jednym klastrze -> pojęcie węzła dotyczy pojedynczego interfejsu magistrali (o ile węzeł posiada wiele interfejsów)



Ramki

- Ramka = Nagłówek (Master) + Odpowiedź (Slave)
- **Nagłówek** składa się z pola przerwy (*break*), pola synchronizacji i identyfikatora ramki
- Identyfikator ramki jednoznacznie określa przeznaczenie ramki
- **Odpowiedź** składa się z pola danych i pola sumy kontrolnej



Ramki

- Cechy
 - Elastyczność systemu: węzły mogą być dodawane do klastra bez wymogu zmian sprzętowych lub programowych w pozostałych węzłach typu Slave
 - Routing komunikatów: treść komunikatu jest zdefiniowana za pomocą identyfikatora ramki (->CAN)
 - Transmisja grupowa (multicast): dowolna liczba węzłów może jednocześnie odbierać pojedyncze ramki

Transport danych

- Sygnały
 - wartości skalarne lub tablice bajtów spakowane w polu danych ramki
 - sygnał zawsze zajmuje tę samą pozycję w polu danych dla wszystkich ramek o tym samym identyfikatorze
- Komunikaty diagnostyczne
 - przenoszone w ramkach o dwóch zarezerwowanych identyfikatorach
 - Interpretacja zależy od samego pola danych oraz od stanu komunikującego się węzła

Zarządzanie sygnałami

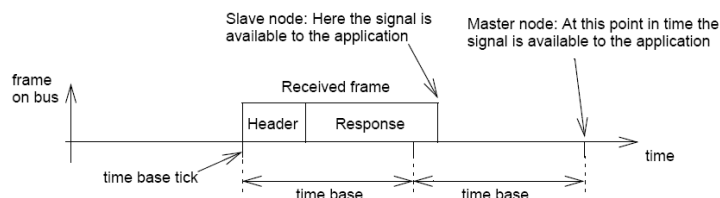
- Sygnały -> wartości skalarne lub tablice bajtów
- Wartości skalarne -> długość od 1 do 16 bitów
- Skalar jednobitowy -> sygnał logiczny
- Skalary o dł. 2-16 bitów -> *unsigned integers*
- Tablica bajtów -> rozmiar od 1 do 8
- Każdy sygnał posiada dokładnie jednego nadawcę
 - jest zapisywany zawsze przez ten sam węzeł
- Sygnał może nie posiadać żadnego, posiadać jednego lub wielu subskrybentów
- Wszystkie sygnały posiadają wartości początkowe, które zachowują ważność do momentu odbioru nowej wartości z innego węzła
- Sygnał jest wartością "atomową", nie jest możliwy odbiór sygnału, który stanowi częściowe uaktualnienie

Upakowanie sygnałów

- Sygnały przesyłane są w kolejności LSB MSB
- Brak ograniczeń co do upakowania sygnału wykraczającego ponad bajt
- Każdy bajt tablicy powinien być mapowany do pojedynczego bajta ramki poczynając od najniższego numeru bajta
- Różne sygnały mogą zostać upakowane do pojedynczej ramki, dopóki nie powoduje to wzajemnego nakładania się
- Taki sam sygnał może być umieszczony w wielu ramkach, dopóki nadawca pozostaje ten sam
- Ważna jest tylko ostatnia wartość sygnału

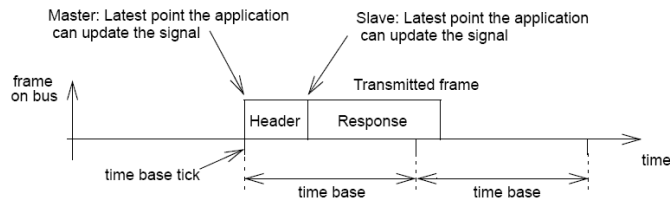
Odbiór i nadawanie sygnałów

- Zdefiniowanie chwili czasu, w której rozpoczyna się transmisja jest pomocne narzędziom projektowym i testującym w celu analizy czasowej
- Zależności czasowe są inne dla Mastera i Slave'a
- Sygnał uważa się za odebrany i dostępny dla aplikacji w następującym przypadku:
 - MASTER -> po następnym takcie po osiągnięciu maksymalnej długości ramki
 - SALVE -> w czasie sprawdzania sumy kontrolnej odbieranej ramki



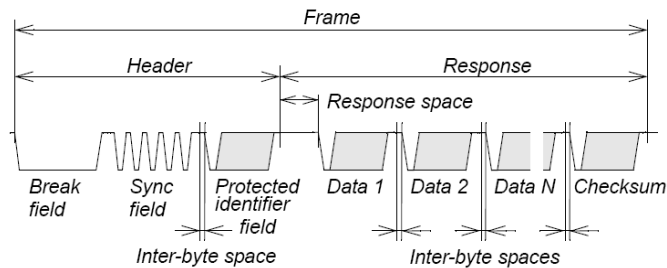
Odbiór i nadawanie sygnałów

- Ostatni moment, w którym sygnał może być nadany:
 - MASTER -> inicjalizacją transmisji ramki
 - SLAVE -> po odbiorze identyfikatora ramki



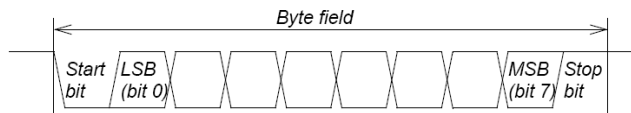
Struktura ramki

- Ramka składa się z kilku pól, w tym z pola przerwy oraz następujących po nich od 4 do 11 pól bajtowych
- Czas transmisji ramki jest sumą czasów każdego bajta, czasu odpowiedzi oraz przerw międzybajtowych
- Nagłówek zaczyna się opadającym zboczem przerwy i kończy po bicie stopu chronionego identyfikatora (PID - protected identifier)
- Pole odpowiedzi rozpoczyna się po bicie stopu pola PID i kończy po bicie stopu pola sumy kontrolnej



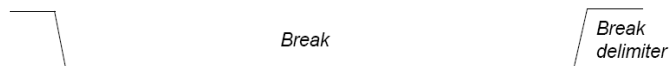
Struktura ramki

- W polu bajtowym jako pierwszy transmitowany jest LSB
- Bit startu jest kodowany jako 0 (stan dominujący), bit stopu jako 1 (stan recesywny)



Struktura ramki - pole przerwy i synchronizacji

- Jedyne pole nie spełniające warunku z poprzedniego slajdu
- Generowane zawsze przez węzeł MASTER
- Co najmniej 13 nominalnych długości bitu, wartość dominująca
- Ogranicznik pola przerwy -> co najmniej 1 bit
- Próg rozpoznania pola przerwy przez węzeł SLAVE powinien wynosić 11 okresów lokalnego czasu trwania bitu



- Pole synchronizacji -> pole bajtowe o wartości 0x55
- Pole zalecane, nie wymagane



Struktura ramki - pole identyfikatora i danych

- PID zawiera dwa podpola
 - identyfikator ramki (6 bitów)
 - parzystość (2 bity)
- Identyfikator ramki
 - 0-59 (0x3B) - ramki transmitujące sygnał
 - 60 (0x3C) - 61 (0x3D) - dane diagnostyczne i konfiguracyjne
 - 62 (0x3E) - 63 (0x3F) - rezerwa pod przyszłe rozszerzenia
 - Parzystość

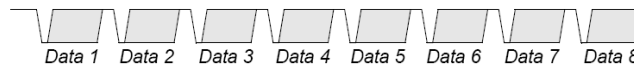
$$P0 = ID0 \oplus ID1 \oplus ID2 \oplus ID4$$

$$P1 = \neg(ID1 \oplus ID3 \oplus ID4 \oplus ID5)$$

- Mapa bitów



- Możliwość transmisji od 1 do 8 bajtów danych
- Konwencja *little-endian*



Długość ramki

- Pole przerwy -> 14 okresów czasu trwania bitu

$$T_{\text{Header_Nominal}} = 34 * T_{\text{Bit}}$$

$$T_{\text{Response_Nominal}} = 10 * (N_{\text{Data}} + 1) * T_{\text{Bit}}$$

$$T_{\text{Frame_Nominal}} = T_{\text{Header_Nominal}} + T_{\text{Response_Nominal}}$$

- Maksymalny czas pomiędzy bajtami zwiększa czas transmisji o 40%

$$T_{\text{Header_Maximum}} = 1.4 * T_{\text{Header_Nominal}}$$

$$T_{\text{Response_Maximum}} = 1.4 * T_{\text{Response_Nominal}}$$

$$T_{\text{Frame_Maximum}} = T_{\text{Header_Maximum}} + T_{\text{Response_Maximum}}$$

- Narzędzia i testy powinny uwzględniać $T_{\text{Frame_Maximum}}$
- Węzły nie powinny sprawdzać powyższego czasu
- Węzły powinny akceptować ramkę, nawet, jeśli czas jest większy

Tablica harmonogramów

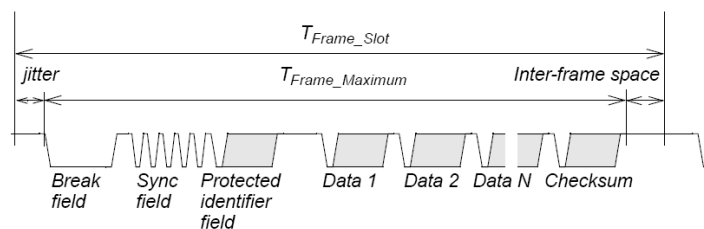
- Kluczowa cech protokołu LIN
- Gwarancja pewności braku przeciążenia magistrali
- Okresowość sygnałów
- Determinizm osiągnięty dzięki inicjalizującej funkcji jednostki nadrzędnej -> odpowiedzialność za zapewnienie otrzymają wystarczający czas na transfer danych
- Minimalna jednostka czasu -> T_{base}
- Implementowana w węźle MASTER w celu kontroli harmonogramu
- T_{base} -> zwykle 5 lub 10 ms
- Ramka rozpoczyna się w takt T_{base}
- Rozsynchronizowanie (*jitter*) określa różnicę między maks. a min. opóźnieniem od taktu T_{base} do rozpoczęcia ramki

Okno ramki

- Czas sterujący przebiegiem czasowym tabeli harmonogramu

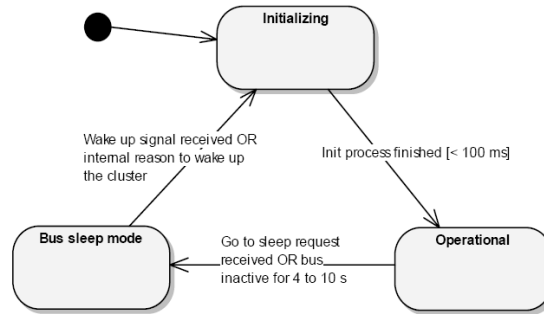
$$T_{Frame_Slot} = T_{base} * n$$

$$T_{Frame_Slot} > jitter + T_{Frame_Maximum}$$



Zarządzanie siecią

- Obejmuje procesy uśpienia i wybudzenia



Zarządzanie siecią

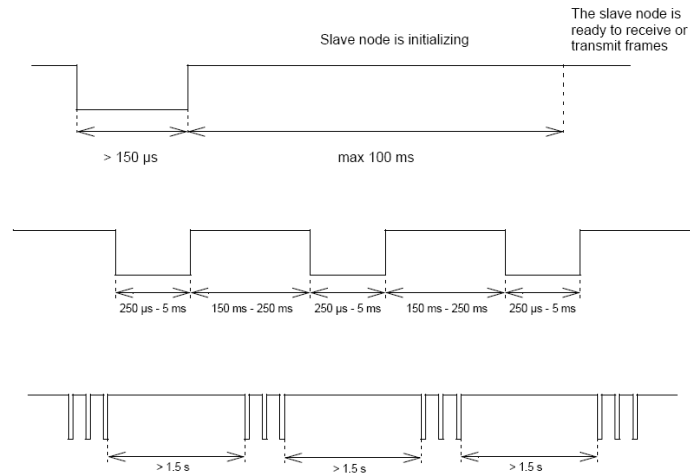
- Uśpienie

data1	data2	data3	data4	data5	data6	data7	data8
0	0xFF	0xFF	0xFF	0xFF	0xFF	0xFF	0xFF

- Węzeł SLAVE powinien przejść w stan uśpienia najwcześniej po 4 s, najpóźniej po 10 s w przypadku braku aktywności magistrali
- brak aktywności oznacza brak zmiany stanu z recesywnego na dominujący

Zarządzanie siecią

- Wybudzenie



Warstwa fizyczna

- Tolerancja prędkości transmisji w stosunku do prędkości nominalnej

no.	bit rate tolerance	Name	$\Delta F / F_{Nom.}$
Param 1	Master node (deviation from nominal bit rate)	$F_{TOL_RES_MASTER}$	$< \pm 0.5\%$
Param 2	Slave node without making use of synchronization (deviation from nominal bit rate)	$F_{TOL_RES_SLAVE}$	$< \pm 1.5\%$
Param 3	Deviation of slave node bit rate from the nominal bit rate before synchronization; relevant for nodes making use of synchronization and direct break detection.	F_{TOL_UNSYNC}	$< \pm 14\%$

- Tolerancja prędkości transmisji węzła SLAVE w stosunku do prędkości węzła MASTER

no.	bit rate tolerance	Name	$\Delta F / F_{Master}$
Param 4	Deviation of slave node bit rate relative to the master node bit rate after synchronization; relevant for nodes making use of synchronization; any slave node must stay within this tolerance for all fields of a frame which follow the sync field.	F_{TOL_SYNC}	$< \pm 2\%$

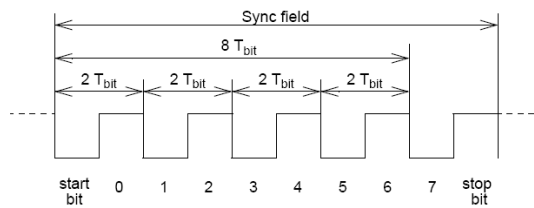
Warstwa fizyczna

- Tolerancja prędkości transmisji w stosunku do węzłów SLAVE

no.	bit rate tolerance	Name	$\Delta F / F_{Master}$
Param 5	For communication between any two nodes (i.e. data stream from one slave to another slave) their bit rate must not differ by more than $F_{TOL_SL_to_SL}$. The following condition must be checked for: a) $ F_{TOL_RES_SLAVE1} - F_{TOL_RES_SLAVE2} < F_{TOL_SL_to_SL}$ b) $ F_{TOL_SYNCH1} - F_{TOL_SYNCH2} < F_{TOL_SL_to_SL}$ c) $ (F_{TOL_RES_MASTER} + F_{TOL_SYNCH1}) - F_{TOL_RES_SLAVE2} < F_{TOL_SL_to_SL}$	$F_{TOL_SL_to_SL}$	$< \pm 2\%$

Wymagania czasowe

- Synchronizacja

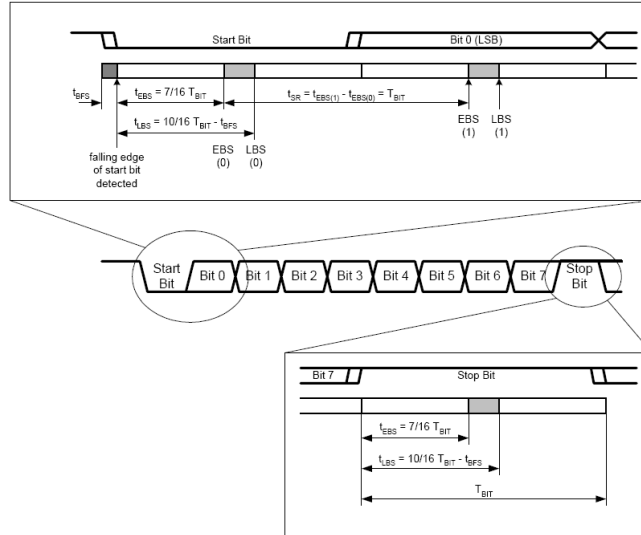


- Próbkowanie bitów

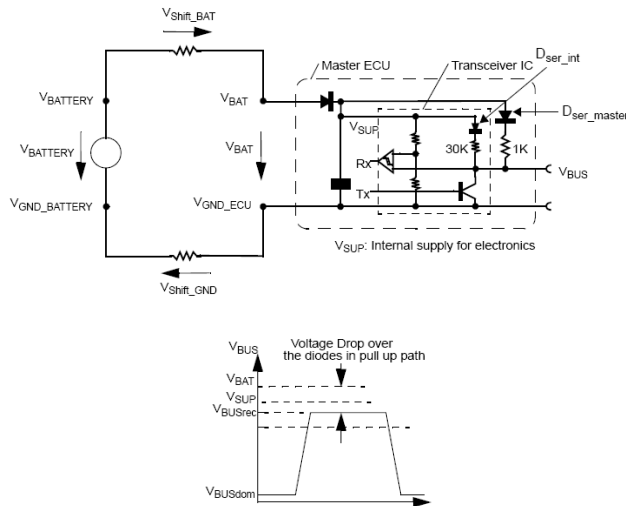
$$t_{LBS} = 10/16 T_{BIT} - t_{BFS}$$

no.	parameter	min.	typ.	max.	unit	Comment / condition
Param 6	t_{BFS}		1/16	2/16	T_{BIT}	Value of accuracy of the byte field detection
Param 7	t_{EBS}	7/16			T_{BIT}	Earliest bit sample time, $t_{EBS} \leq t_{LBS}$
Param 8	t_{LBS}				T_{BIT}	Latest bit sample (see Equation 11), $t_{LBS} \geq t_{EBS}$

Próbkowanie bitów



Parametry elektryczne



Parametry elektryczne

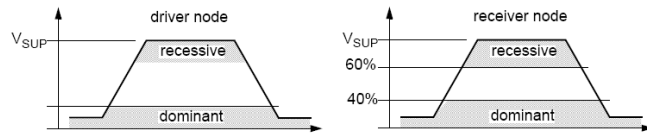
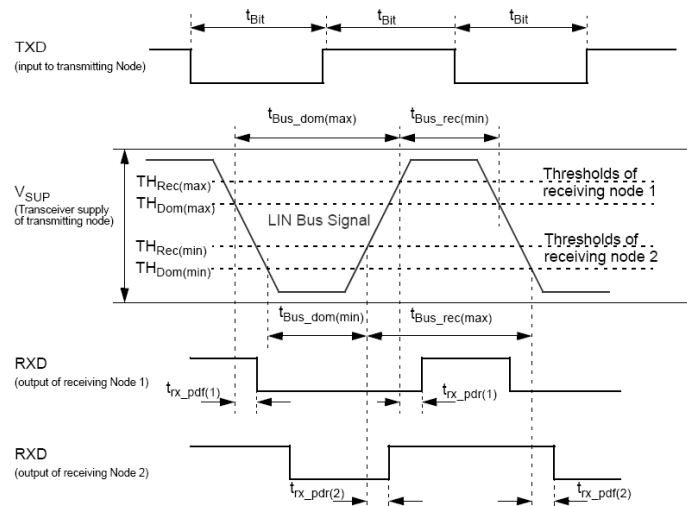


Diagram czasowy



Sieci przeznaczenia specjalnego

Parametry

no.	parameter	min.	typ.	max.	unit	comment / condition
Param 9	V_{BAT}^a	8		18	V	ECU operating voltage range
Param 10	V_{SUP}^b	7.0		18	V	supply voltage range
Param 11	$V_{SUP_NON_OP}$	-0.3		40	V	voltage range within which the device is not destroyed
Param 12	$I_{BUS_LIM}^c$	40		200	mA	Current Limitation for Driver dominant state driver on $V_{BUS} = V_{BAT_max}^d$
Param 13	$I_{BUS_PAS_dom}$	-1			mA	Input Leakage Current at the Receiver incl. Pull-Up Resistor as specified in Table 6.7 driver off $V_{BUS} = 0V$ $V_{BAT} = 12V$
Param 14	$I_{BUS_PAS_rec}$			20	μA	driver off $8V < V_{BAT} < 18V$ $8V < V_{BUS} < 18V$ $V_{BUS} \geq V_{BAT}$
Param 15	$I_{BUS_NO_GND}$	-1		1	mA	Control unit disconnected from ground $GND_{Device} = V_{SUP}$ $0V < V_{BUS} < 18V$ $V_{BAT} = 12V$ Loss of local ground must not affect communication in the residual network.
Param 16	$I_{BUS_NO_BAT}$			100	μA	V_{BAT} disconnected $V_{SUP_Device} = GND$ $0 < V_{BUS} < 18V$ Node has to sustain the current that can flow under this condition. Bus must remain operational under this condition.
Param 17	V_{BUSdom}			0.4	V_{SUP}	receiver dominant state
Param 18	V_{BUSrec}	0.6			V_{SUP}	receiver recessive state
Param 19	V_{BUS_CNT}	0.475	0.5	0.525	V_{SUP}	$V_{BUS_CNT} = (V_{th_dom} + V_{th_rec})/2^e$
Param 20	V_{HYS}			0.175	V_{SUP}	$V_{HYS} = V_{th_rec} - V_{th_dom}$

Sieci przeznaczenia specjalnego

PLC

.....
Bluetooth

.....
ZigBee

Sieci przeznaczenia specjalnego

PLC - Power Line Communication

- 1899 rok -> patent USA -> wykorzystanie sieci energetycznej niskiego napięcia do przesyłania sygnałów sterujących
- PKN-CLC/TR 50412-1:2007 (*Power line communication apparatus and systems used in low-voltage installations in the frequency range 1,6 MHz to 30 MHz -- Part 1: General*)
- ZALETY -> powszechność i oszczędność na budowie oddzielnej linii
- ZASTOSOWANIA
 - Sterowanie urządzeniami w budynku mieszkalnym (np. ogrzewanie, klimatyzacja itp.)
 - Internet -> próby do 45MB/s
 - Przesyłanie danych z urządzeń pomiarowych (np. liczniki energii elektrycznej, mierniki przepływu wody, gazu itp.)

PLC

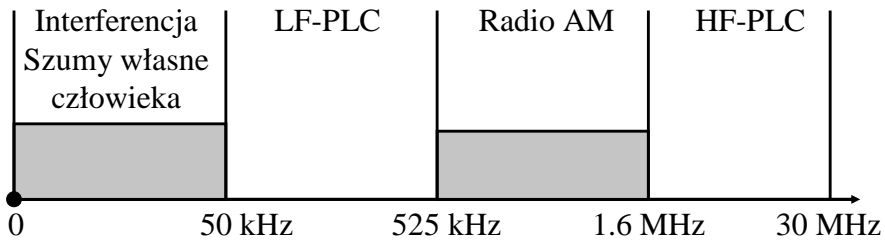
- PROBLEMY:
 - Niedopasowanie impedancyjne (energetyczne) nadajników i odbiorników do impedancji sieci -> 0.1 do 10 Ω
 - Straty mocy
 - Tłumienie sygnału w sieci
 - Filtr dolnoprzepustowy RL
 - Tłumienie od 6dB do 54dB
 - Zależy nie tylko od długości, ale od konfiguracji sieci
 - Konfiguracja zmienna w przestrzeni i czasie (dołączanie różnych urządzeń w różnych częściach budynku) -> duża i zmienna tłumienność
 - Poziom szumów i zakłóceń
 - Odbiorniki energii w trakcie załączania lub wyłączenia, czasem także w trakcie pracy
 - Pole elektromagnetyczne -> sieć jako antena
 - Sieć -> antena nadawcza transmitowanych sygnałów

PLC – pasma i poziomy sygnałów [EN 50065/2002]

Zakres częstotliwości	3 kHz do 9 kHz	9 kHz do 95 kHz	95 kHz do 125 kHz	125 kHz do 140 kHz	140 kHz do 148.5 kHz
Użytkownik pasma	Dostawca energii	Dostawca energii i licencjonowani użytkownicy	Wszyscy użytkownicy. Protokół dostępu nie wymagany	Wszyscy użytkownicy. Protokół dostępu wymagany	Wszyscy użytkownicy. Protokół dostępu nie wymagany
Poziom sygnału	134 dB	134 dB dla 9 kHz 120 dB dla 95 kHz	Dla odbiorców indywidualnych		Dla przemysłu
			116 dB		134dB

W tabeli: poziom sygnału 0 dB → 1 μ V

PLC – poziomy zakłóceń



Pasma częstotliwości	od 150 kHz do 500 kHz	od 500 kHz do 5 MHz	od 5 MHz do 30 MHz
Napięcie zakłóceń, wartość quasi peak-peak [dB]	od 66 dB dla 150 kHz do 56 dB dla 500 kHz	56 dB	60 dB
Napięcie zakłóceń, wartość średnia [dB]	od 56 dB dla 150 kHz do 46 dB dla 500 kHz	46 dB	50 dB

W tabeli: poziom sygnału: 0 dB → 1 μV.

PLC - protokoły

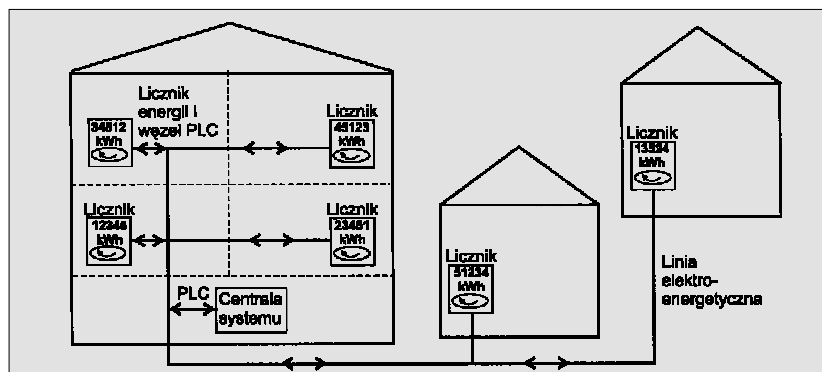
- X10 (1978 r.) -> sterowanie urządzeniami elektrycznymi
 - modulacja amplitudy
 - proste rozkazy: włącz/wyłącz, jasno/ciemno
 - 256 węzłów: odbiorniki, nadajniki, elementy nadawczo-odbiorcze
 - unikatowy numer w systemie
 - prostota ważniejsza od szybkości transmisji i objętości informacji
 - inteligentne budynki -> USA
 - nie używany w systemach pomiarowych
- CEBus (EIA 600), 2003 r.
 - brak modułu nadrzędnego
 - nadajniki i odbiorniki
 - transmisja do 10kb/s
 - inteligentne budynki

PLC - protokoły

- LonWorks (EIA 709)
 - brak urządzenia nadrzędnego
 - do 10 kb/s
 - inteligentny budynek
 - nie używany w systemach pomiarowych
- ISO 10368
 - monitoring kontenerów na statkach i pociągach towarowych

PLC - przykład systemu pomiarowego

- System zbierania danych z liczników energii elektrycznej
- Zakres:
 - obszar zasilany z 1 transformatora sieciowego średniego napięcia (15 kV/400 V)



PLC - przykład systemu pomiarowego

- Dane techniczne
 - częstotliwość nośna 132,45 kHz
 - poziom sygnału 1 V rms
 - czułość odbiornika 1 mV rms
 - modulacja częstotliwości FSK
 - szybkość transmisji 1200 b/s
- 11 liczników, 3 budynki
- godz. 6-10 oraz 14-23 -> max 30% węzłów z poprawną transmisją
- komunikacja z najbardziej oddalonymi licznikami możliwa była tylko w nocy, raz na kilka dni

Bluetooth

- Standard interfejsu radiowego małej mocy
- Firma Ericsson 1998 r.
- Zasięg do 10 m
- pasmo 2,45 GHz
- 1 Mb/s
- Możliwość budowy systemów pomiarowych -> większa moc nadajników -> zasięg 100 m
- IEEE 802.11
- sieć do 8 urządzeń
- Zastąpienie IrDA

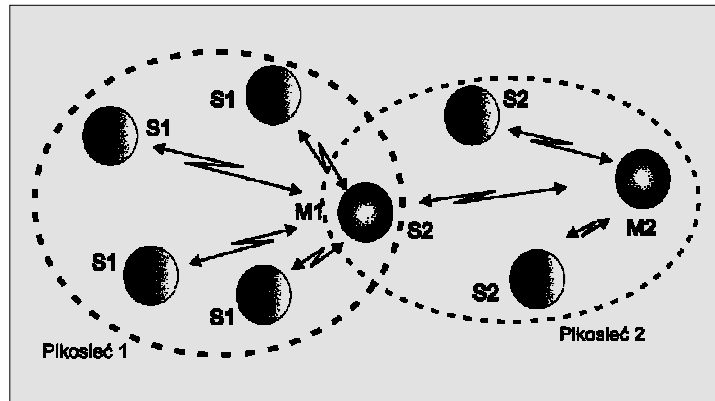
Bluetooth - cechy

- Pasmo od 2.402 do 2.4835 GHz (ISM - *Industrial, Scientific, Medical* -> bez licencji)
- Japonia, Hiszpania, Francja -> węższy zakres (23 MHz)
- Dostępność pasma -> konieczność ochrony transmisji
- Transmisja -> wyszukanie niezajętej części pasma lub modulacja w widmie rozproszonym (Bluetooth)
- Każde urządzenie -> adres 32 bitowy BDA (*Bluetooth Device Address*) -> 2^{32} urządzeń
- Kodowanie -> kluczkowanie częstotliwości FSK
 - "1" -> nośna kanału o 160 kHz więcej od podstawowej
 - "0" -> nośna kanału o 160 kHz mniej o podstawowej
 - Dopuszczalne odstrojenie 160 kHz

Bluetooth - sieć

- Pikosieć, każde urządzenie -> nadajnik i odbiornik
- 1 Master -> pozostałe Slave
- Każde urządzenie może pełnić funkcję Master lub Slave
- Na czas istnienia pikosieci -> funkcje Master dla urządzenia inicjującego
- Każde urządzenie -> część kilku pikosieci
- Kilka lub kilkanaście pikosieci z elementami wspólnymi -> sieć rozproszona (*scatternet*)
- W sieci rozproszonej -> Master tylko w 1 pikosieci -> pozostałe pikosieci -> Slave
- Komunikacja w trybie pół-dupleksu -> jeden na jeden
- W określonym przedziale czasu (szczelina czasowa) -> nadajnik przesyła dane do 1 odbiornika, 1 odbiornik odbiera dane od 1 nadajnika
- Przynależność do różnych pikosieci wymusza komunikację w różnych szczelinach czasowych

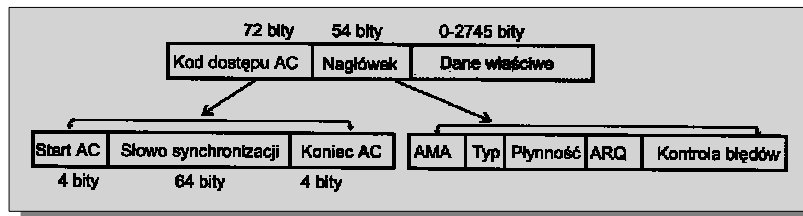
Bluetooth - sieć



Bluetooth - kanały transmisyjne

- modulacja z rozpraszaniem widma ze skokową zmianą częstotliwości FHSS i dzieleniem czasu TDD (*Time Division Duplex*)
- Przedział 2401 MHz do 2480 MHz -> 79 kanałów z odstępem 1 MHz
- System dzieli pasmo na kanały o zmieniającej się skokowo częstotliwości nośnej
- Zmiany częstotliwości (kanału) odbywają się pseudolosowo wg określonej sekwencji
- Kanał transmisyjny -> nie tylko przydział częstotliwości, ale także szczelina czasowa (625 us)
- W ramach 1 szczeliny -> 1 pakiet
- Skokowa zmiana częstotliwości -> 1600 razy na sekundę
- Sekwencję zmian częstotliwości musi znać nadajnik i odbiornik

Bluetooth - kanały transmisyjne



- Pakiet -> 3 części:
 - kod dostępu AC (*Access Code*)
 - nagłówek (*Packet Header*)
 - dane właściwe (*Payload*)
- AC: 4 bity startu (*Preamble*), 64 bity synchronizacji (*Sync Word*), 4 bity końca kodu (*Trailer*)

Bluetooth - kanały transmisyjne

- Synchronizacja -> informacje o pseudolosowej sekwencji zmian częstotliwości
 - nowe słowo 64-bitowe -> pierwsza część - przepisanie starszych 40 bitów słowa *Sync Word*, druga część: 24 młodsze bity *Sync Word* XOR 24 młodsze bity adresu BDA nadajnika
- Nagłówek:
 - 3 bity aktywnego uczestnika pikosieci AMA (*Active Member Address*)
 - 4 bity -> typ pakietu
 - 1 bit kontroli płynności transmisji
 - 1 bit automatycznej retransmisji pakietu ARQ
 - bity kontroli błędów HEC (*Header Check Control*)
- Pole danych właściwych: od 0 do 2745 bitów
- Przy większych rozmiarach danych -> 3 lub 5 szczelin czasowych (multiszczelina)
- W multiszczelinie częstotliwość kanału nie zmienia się

ZigBee

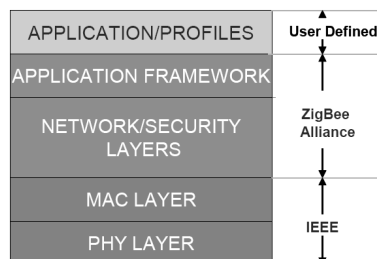
- Interfejs radiowy oparty na IEEE 802.15.4 o bardzo małym zużyciu energii (>1 rok bez wymiany baterii)
- Nieregularna i rzadka komunikacja radiowa w sieci PAN (*Personal Area Network*) -> komunikaty o małej objętości, np. pomiary temperatury, sygnały alarmu przekroczenia wartości itp.
- Stosunek pracy aktywnej do czasu włączenia (*duty cycle*) - > ok. 0.1%
- Pakiet -> ramka 128 bajtów,
- Pole danych od 0 do 104 bajtów (*payload*)
- Modulacja z rozpraszaniem widma i wykorzystaniem sekwencji bezpośredniej DSSS (*Direct Sequence Spread Spectrum*)
- Dostęp do kanałów -> metoda wielodostępu z wykrywaniem nośnika i unikaniem kolizji CSMA/CA (*Carrier Sense Multiple Access with Collision Avoidance*)

ZigBee – parametry techniczne

Pasma częstotliwości	Szybkość transmisji	Zasięg transmisji	Numery kanałów	Szerokość kanałów Δf	Rodzaj modulacji
868 ÷ 870 MHz	20 kb/s	100 m	0	0,6 MHz	BPSK
902 ÷ 928 MHz	40 kb/s	100 m	1 do 10	1,2 MHz	BPSK
2,4 ÷ 2,4835 GHz	250 kb/s	50 m	11 do 26	2 MHz	16-ary ortogonalna

ZigBee – protokoły i ramki transmisyjne 802.15.4

- Założenia:
 - Niski koszt inwestycji i eksploatacji (zasilanie bateryjne)
 - > proste urządzenia



- Warstwa fizyczna -> niski koszt urządzeń i możliwość produkcji w pojedynczych układach scalonych

ZigBee – warstwy

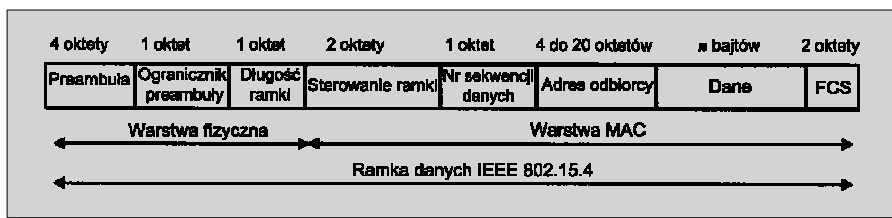
- Warstwa MAC
 - praca w kilku topologiach, bez zbędnego narzutu na konfigurację
 - Urządzenia o funkcjach pełnych i ograniczonych
 - Możliwość przyjęcia do sieci urządzenia nowo włączonego (30 ms) -> nadanie numeru w sieci
 - Szybka aktywacja urządzeń w stanie uśpienia (*sleeping slave*) -> czas akwizycji danych pomiarowych -> 15 ms (większość urządzeń przez 99,9% czasu włączenia znajduje się w uśpieniu)
- Warstwa sieciowa -> ZigBee Alliance
 - Uwzględnienie powiększania sieci bez potrzeby zwiększania prędkości transmisji
 - Duża liczba węzłów (64k) -> czas oczekiwania na połączenie

ZigBee - MAC

- Typy ramek transmisyjnych
 - Ramka znacznika (*beacon frame*) -> koordynator sieci
 - Ramka danych
 - Ramka potwierdzenia (*acknowledge frame*) -> potwierdzenie odebrania komunikatu
 - Ramka rozkazu MAC (*MAC command frame*) -> pojedyncze rozkazy
- Zasadnicza część ramki -> warstwa MAC
 - Pole sterowania ramką
 - Pole z numerem sekwencji danych -> większe komunikaty
 - Adres odbiorcy komunikatu (16 lub 64 bitów)
 - Pole kontrolne ramki FCS (*Frame Check Sequence*)

ZigBee - MAC

- Zasadnicza część ramki -> warstwa MAC (cd.)
 - Preambuła -> 32 bity
 - Ogranicznik preambuły -> 8 bitów
 - Informacja o długości ramki -> 8 bitów
- Adresowanie za pomocą 64 bitów -> wersja pełna (IEEE) lub 16 bitów -> wersja skrócona

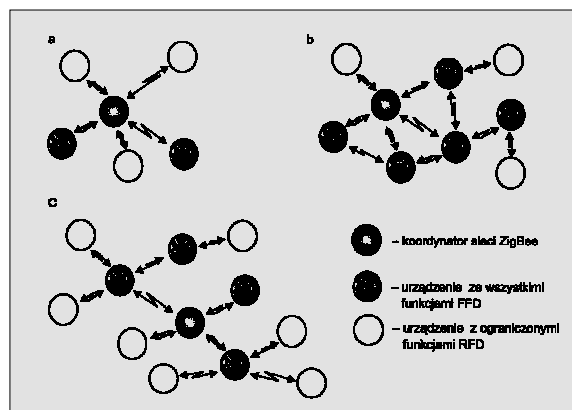


ZigBee - adresowanie

- Okresowe - okres ustalony przez użytkownika -> system monitorowania obiektów za pomocą sieci czujników
- Nieregularne - urządzenia sterowane okazjonalnie
- Powtarzalne z krótkim czasem oczekiwania, przydział szczeliny czasowej na komunikację
 - Technika gwarantowanych szczelin czasowych GTS (*guaranteed time slot*) -> jedna z metod QoS
 - np. urządzenia peryferyjne komputera: myszy, klawiatury; zabawki itp.
- Złożoność protokołu -> ok 1/4 złożoności Bluetooth

ZigBee - topologia i struktura sieci

- gwiazdzista
- siatki
- gałęzi drzewa



ZigBee - topologia i struktura sieci

- gwiazda - najczęściej spotykana
- siatka lub drzewo - lepsza niezawodność (wiele dróg)

Rodzaje urządzeń

- FFD (*Full Function Device*)
- RFD (*Reduced Function Device*) -> nie muszą zawierać pamięci "flash", nie wymagają pojemnych RAM i ROM -> tańsze od FFD

Standard 802.15.4 -> co najmniej jedno urządzenie FFD -> koordynator

ZigBee - właściwości urządzeń

Urządzenie RFD z ograniczonymi funkcjami	Urządzenie FFD z pełnymi funkcjami
Praca tylko w topologii gwiazdистой	Praca w sieci o każdej topologii
Nie może być koordynatorem sieci	Może być koordynatorem sieci
Komunikuje się tylko z koordynatorem sieci	Może być retransmiterem w sieci
Proste w wykonaniu, minimalne pojemności pamięci RAM i ROM	Może się komunikować z każdym urządzeniem w sieci (RFD/FFD)
Zasilane bateryjnie	Zasilanie przewodowe z zasilacza

- Funkcje urządzeń:
 - terminale (End Device)
 - routery
 - koordynatory PAN

ZigBee - urządzenia

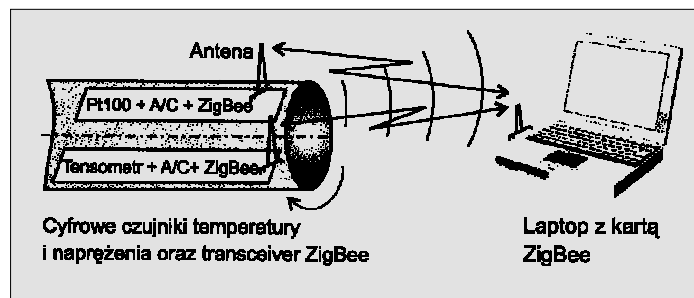
- Koordynator
 - rozpoczyna pracę sieci
 - zarządza węzłami
 - magazynuje dane
- Router
 - kieruje przepływem informacji między węzłami
- Terminal
 - zwykle wysyła informacje
 - urządzenie FFD lub RFD
 - radiomodem małej mocy z nadajnikiem/odbiornikiem (*tranceiver*)
 - czujnik bezprzewodowy z radiomodemem
 - prosty układ wykonawczy

ZigBee - przykłady układów

- AMI Semiconductor
 - ASTRX1: 868 i 915 MHz, 40 kb/s, moc nadajnika 0 dBm, czułość odbiornika -95 dBm, zasilanie bateryjne 3V +/- 0,3 V
- Chipcon -> TI
 - CC2420 + CC2430 (8051): 2,4 GHz, 250 kb/s, rejestry buforowe nadajnika i odbiornika 128 bajtów, zasilanie za baterii 2,1 - 2,6 V, 17 mA -> nadawanie, 20 mA -> odbiór,
- Freescale Semiconductor
 - MC13192: pasmo 2,4 GHz, 0 dBm nominalnie (programowane od -27 do 4 dBm), 250 kb/s, -92 dBm, <40uA w stanie uśpienia

ZigBee - przykłady

- Czujnik bezprzewodowy ZigBee lub transceiver z czujnikiem -> pomiary dotykowe obiektów ruchomych (np. wirujących) w tym pomiar temperatury i naprężeń mechanicznych



Inne rozwiązania

- TR1100 -> RFM:
 - poza standardem 802.15.4,
 - 915 MHz,
 - 1 Mb/s,
 - 12 us czas aktywacji -> system standardowy spowalnia pracę urządzenia

Porównanie

Nazwa interfejsu	Pasma f lub λ	Szybkość transmisji	Zasięg liniowy	Liczba węzłów w sieci (max)	Nadanie numeru dołączonego przyrządowi	Czas aktywacji przyrządu „uspięnego”
Bluetooth	2,45 GHz	1 Mb/s	10 m (100 m)	8	3 s	3 s
ZigBee	868 MHz 915 MHz 2,45 GHz	20 kb/s 40 kb/s 250 kb/s	100 m 100 m 50 m	65 536	30 ms	15 ms
HomeRF 1.0 HomeRF 2.0	2,45 GHz 2,45 GHz	2 Mb/s 10 Mb/s	50 m 50 m	128	brak danych	134 μ s
Area Infra Red	$\lambda = 900$ nm	4 Mb/s	8 m	10	brak danych	brak danych
HIPERLAN2	5,2 GHz	54 Mb/s	150 m	10	brak danych	brak danych