

Zdzisław **FILUS**

MULTIPLEKSOWE SYSTEMY OKABLOWANIA POJAZDÓW SAMOCHODOWYCH

Streszczenie: Opracowanie jest poświęcone ogólnemu porównaniu podstawowych cech różnych protokołów transmisji danych w magistralowych systemach okablowania pojazdów samochodowych. Po wprowadzeniu, uzasadniającym konieczność wprowadzenia takich systemów magistralowych, omówiono podział sieci multipleksowych do przesyłania danych w samochodach na klasy oraz przedstawiono podstawowe wymagania stawiane sieciom należącym do różnych klas. Z kolei opisano stosowane w tych sieciach rozwiązania dotyczące sposobu kodowania bitów, uzyskiwania dostępu do magistrali i wyboru medium transmisyjnego. Zasadniczą częścią tego opracowania jest ogólne porównanie w postaci tabelarycznej kilkunastu wybranych protokołów do sieci samochodowych, opracowanych przez czołowych producentów samochodowych. Przedstawiono także porównanie tych protokołów pod względem szacowanego kosztu jednego modułu i maksymalnej szybkości transmisji danych.

1. WPROWADZENIE

Od lat siedemdziesiątych ubiegłego stulecia na szeroką skalę wprowadza się układy i systemy elektroniczne do samochodów. Co prawda pierwsze zastosowania elektroniki samochodowej sięgają lat wcześniejszych, były to jednak zastosowania jednostkowe i realizowane przede wszystkim z wykorzystaniem techniki analogowej (np. elektroniczne układy zapłonowe, pierwsze układy ABS) [1, 2]. We wspomnianym okresie w Stanach Zjednoczonych drastycznie zaostrzone zostały normy dotyczące zawartości szkodliwych substancji w spalinach i wkrótce okazało się, że spełnienie tych norm poprzez modyfikację klasycznego układu zasilania paliwem i układu zapłonowego jest praktycznie niemożliwe. W tym czasie jednak na rynku pojawiły się pierwsze mikroprocesory. Ich zastosowanie w elektronicznym systemie sterowania pracą silnika, w połączeniu z wtryskowym układem zasilania paliwem i konwerterem katalitycznym, pozwoliło na radykalne zmniejszenie emisji szkodliwych substancji, a także na znaczną poprawę osiągnięć silnika. Od lat osiemdziesiątych układy elektroniczne są szeroko wprowadzane również do innych systemów samochodu, wpływając w olbrzymim stopniu na poprawę bezpieczeństwa czynnego i biernego, ergonomii i komfortu jazdy itp.

Nieodłącznymi elementami elektronicznych układów sterowania są współpracujące z nimi czujniki i elektromechaniczne elementy wykonawcze. We współczesnym samochodzie liczba mikroprocesorów lub mikrokontrolerów może wynosić od kilku do kilkudziesięciu, a liczba czujników - kilkadziesiąt lub więcej. Konieczność połączenia tych elementów ze sobą powoduje olbrzymią komplikację okablowania. Ponadto, przy tradycyjnym sposobie łączenia czujniki tego samego rodzaju są często dublowane, gdyż mogą one być wymagane przez różne - pracujące niezależnie od siebie - układy sterowania. We współczesnym samochodzie masa okablowania wynosi kilkadziesiąt kilogramów i łączna długość przewodów wynosi kilka kilometrów. Podczas wytwarzania wiązek kablowych należy przygotować znacznie ponad tysiąc końcówek przewodów, a liczba zastosowanych złączy - najbardziej zawodnych elementów okablowania - sięga kilkuset. Wszystko to powoduje, że koszt okablowania stanowi znaczącą część ceny samochodu. Kosztowna jest również diagnostyka uszkodzeń okablowania i wymiana wadliwych elementów. Problemy te spowodowały podjęcie już

w latach osiemdziesiątych prac nad multipleksowymi (magistralowymi) systemami przesyłania danych i sygnałów sterujących w samochodach.

Do zalet multipleksowych systemów okablowania należy zaliczyć [1]:

- mniejsze rozmiary i masę wiązek kablowych, z czym wiąże się zmniejszenie zużycia paliwa i - w perspektywie, po wprowadzeniu takiego rozwiązania na masową skalę - mniejszy koszt,
- łatwiejszą automatyzację produkcji,
- szybszą instalację w samochodzie i znacznie łatwiejsze różnicowanie wersji wyposażenia samochodu,
- zwiększoną niezawodność (mniejsza liczba przewodów i złączy),
- możliwość wbudowania funkcji diagnostycznych do modułów elektronicznych.

2. KLASY SIECI KOMUNIKACYJNYCH W SAMOCHODACH

2.1 Definicje klas

W latach dziewięćdziesiątych organizacja SAE (Society of Automotive Engineers) zdefiniowała trzy klasy sieci komunikacyjnych, wykorzystywanych do przesyłania danych i sygnałów sterujących pomiędzy układami sterowania, czujnikami i elementami wykonawczymi w samochodach. Klasy te zdefiniowano poniżej [2].

Klasa A: System multipleksowany, który zapewnia redukcję okablowania poprzez transmisję wielu sygnałów po tej samej magistrali pomiędzy węzłami, które w konwencjonalnym systemie okablowania byłyby połączone indywidualnymi przewodami. Węzły wykorzystywane w systemie multipleksowym nie występują w tej samej lub podobnej formie w konwencjonalnym systemie okablowania.

Klasa B: System multipleksowy, w którym dane (np. wartości danych parametrycznych) są przekazywane pomiędzy węzłami w celu eliminacji nadmiarowych czujników i innych elementów systemu. Węzły takiego systemu zazwyczaj istniały już w tradycyjnie okablowanym samochodzie w postaci niezależnych modułów (np. sterownik silnika, zestaw wskaźników, komputer pokładowy itp.).

Klasa C: System multipleksowy, w którym dane są przesyłane z dużą szybkością - przede wszystkim w celu realizacji sterowania w czasie rzeczywistym - w układzie sterowania silnikiem lub w innych układach o krytycznym znaczeniu (np. ABS) w celu ułatwienia sterowania rozproszonego i dalszej redukcji okablowania.

Sieć klasy B powinna być funkcjonalnym nadzbiorem sieci klasy A, to znaczy, że magistrala klasy B musi umożliwiać komunikację zapewniającą również realizację wszystkich funkcji magistrali klasy A. Podobny wymóg stawia się sieci klasy C w odniesieniu do sieci klasy B. Zapewnia to możliwość wykorzystania jednej magistrali do realizacji funkcji wszystkich klas. Możliwa jest również inna konfiguracja, z dwiema lub trzema magistralami różnych klas, które są połączone ze sobą za pośrednictwem tzw. bram (ang. gateway).

2.2 Ogólne własności sieci należących do różnych klas

Biorąc pod uwagę, że sieci klasy A stosowane są przede wszystkim do łączenia czujników, a sieci klasy B i C do realizacji sterowania rozproszonego, sieciom tym stawia się odmienne wymagania. Ogólne wymagania stawiane sieciom poszczególnych klas przedstawione są w tabeli 1 [2].

Tablica 1. Wymagania ogólne stawiane systemom multipleksowym w samochodach

	Klasa A	Klasa B	Klasa C
Dane powtarzające się	dozwolone	tak	tak
Odporność na chwilowe przeciążenia sieci	tak	tak	tak
Uzgadnianie (Handshaking)	tak	tak	tak
Przesyłanie z potwierdzeniem wewnątrzramkowym	tak	nie	pożądane
Stan (węzła/parametru)	tak	tak	tak
Liczba węzłów	do 100	10 do 30	10 do 30
Priorytety komunikatów	tak	tak	tak
Maks. opóźnienie	50ms	20ms	5ms do 1ms
Tolerancja oscylatora %	20	2	0,01
Czas „budzenia”	10 μ s	4ms	4ms
Prąd spoczynkowy	<100 μ A	<15mA	<15mA
Liczba bramek/węzeł	<1000	<40k + MPU	<100k + MPU
EMC	tak	tak	tak

Poniżej przedstawiono komentarz uzupełniający opis wybranych wierszy tej tabeli.

Dane powtarzające się. Dane przesyłane w sieciach klasy B i C mają z reguły charakter powtarzalny (dane parametryczne, np. prędkość obrotowa silnika). W sieciach klasy A dane powtarzalne są dopuszczalne, dominują tam jednak dane typu zdarzeń (np. zwarcie/rozwarcie styków czujnika).

Odporność na przeciążenia. Znaczne zwiększenie liczby danych do przesłania (np. podczas zapłonu, przyspieszania, hamowania) nie może powodować zakłóceń w pracy sieci.

Tolerancja oscylatora i czas "budzenia". Małe wymagania odnośnie do stałości częstotliwości zegara w sieci klasy A pozwalają na stosowanie tanich, a jednocześnie szybko wzbudzanych oscylatorów RC.

Prąd spoczynkowy. Niektóre elementy podłączone do sieci klasy A wymagają zasilania przy wyłączonym zapłonie, gdy energia pobierana jest wyłącznie z akumulatora.

Liczba bramek/węzeł. Węzły sieci klasy A muszą być proste i tanie. Węzły sieci klasy B i C są bardziej złożone i wymagają zastosowania mikroprocesora lub mikrokontrolera (MPU).

Jak pokazano w dalszej części niniejszego artykułu, opracowano wiele różnych typów sieci stosowanych w samochodach. Tablica 2 zawiera najczęściej spotykane cechy lub rozwiązania w sieciach należących do poszczególnych klas.

Tablica 2. Typowe cechy poszczególnych klas

	Klasa A	Klasa B	Klasa C
Bufor interfejsu	bit	bajt	komunikat
Modulacja	analogowa	NRZ, PWM lub VPWM	MAN lub NRZ
Maks. szybkość transmisji	1kb/s	10-40kb/s	1Mb/s
Sposób dostępu	master-slave (odpytywanie)	arbitraż (bit po bicie)	arbitraż (bit po bicie), okna czasowe
Medium transmisyjne	pojedynczy przewód	pojedynczy przewód, skrętka	ekranowana skrętka, kabel koncentryczny, światłowód

3. PORÓWNANIE PROTOKOŁÓW DO SIECI SAMOCHODOWYCH

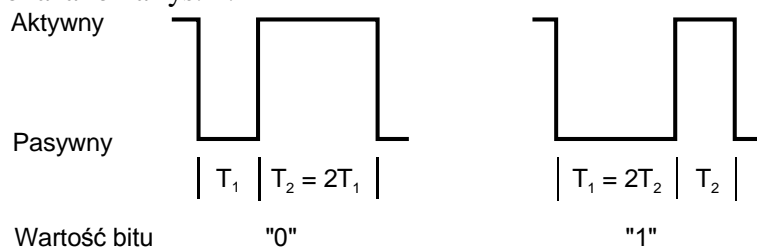
Zasadniczym elementem tego opracowania jest - zamieszczone dalej - porównanie w postaci tabelarycznej różnych protokołów sieci komunikacyjnych w samochodach. Poniżej omówiono dokładniej niektóre kategorie rozpatrywane w tym porównaniu, a także w tabeli 2.

3.1 Metody kodowania bitów

W protokołach komunikacyjnych stosowane są różne sposoby kodowania bitów. Bardzo często głównym kryterium uwzględnianym podczas wyboru sposobu kodowania jest to, aby przesyłany sygnał zawierał jak największą ilość danych przy jak najmniejszej liczbie zmian poziomu sygnału i jak największych odstępach czasowych pomiędzy kolejnymi zmianami. Zapewnia to minimalizację emisji zakłóceń elektromagnetycznych. Poniżej omówiono następujące sposoby kodowania stosowane w sieciach samochodowych: PWM, VPWM, NRZ, NRZ ze wstawianiem bitów, L-MAN, E-MAN i MFM.

PWM (Pulse Width Modulation)

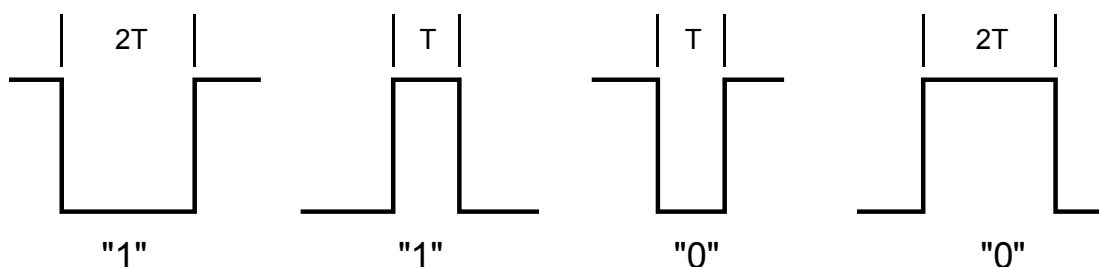
W tej technice kodowania pole pojedynczego bitu składa się z dwóch odstępów czasowych, jak pokazano na rys. 1.



Rys.1. Reprezentacja bitu w kodowaniu PWM

VPWM (Variable Pulse Width Modulation)

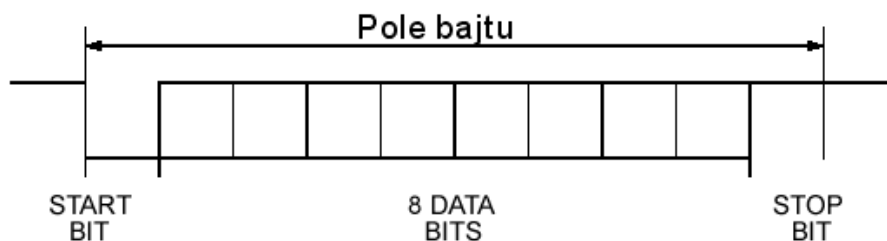
Jest to odmiana kodowania PWM. W tym przypadku każda wartość bitu jest kodowana na dwa sposoby, z wykorzystaniem stanu aktywnego i pasywnego o pojedynczej lub podwójnej długości trwania, jak pokazano na rys. 2.



Rys.2. Reprezentacja bitu w kodowaniu VPWM

10-bitowe kodowanie NRZ (Non Return to Zero)

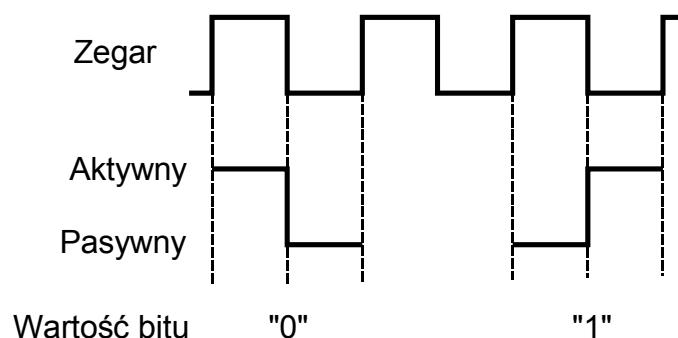
Jest to standardowy format bajtu stosowany w interfejsach szeregowych SCI (rys. 3).



Rys.3. Standardowe kodowanie NRZ

Kodowanie NRZ ze wstawianiem bitów

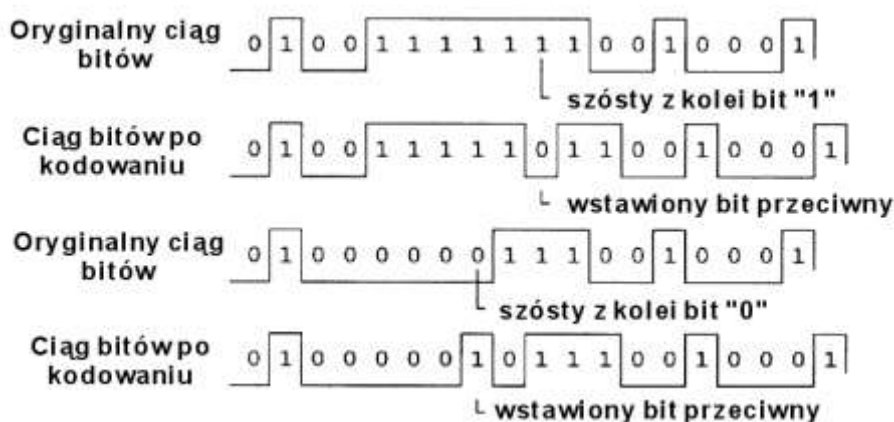
Jest to modyfikacja kodowania NRZ, polegająca na wstawieniu bitu o przeciwnej wartości w przypadku wystąpienia kolejno określonej liczby bitów (np. pięciu) o takiej samej wartości. Wykrycie przez odbiornik określonej uprzednio i powiększonej o 1 liczby bitów (czyli np. sześciu) o tej samej wartości powoduje usunięcie ostatniego bitu. Kodowanie tego rodzaju zilustrowane jest na rys. 4.



Rys.4. Kodowanie 10-bitowe NRZ ze wstawianiem bitów

L-MAN (L-Manchester)

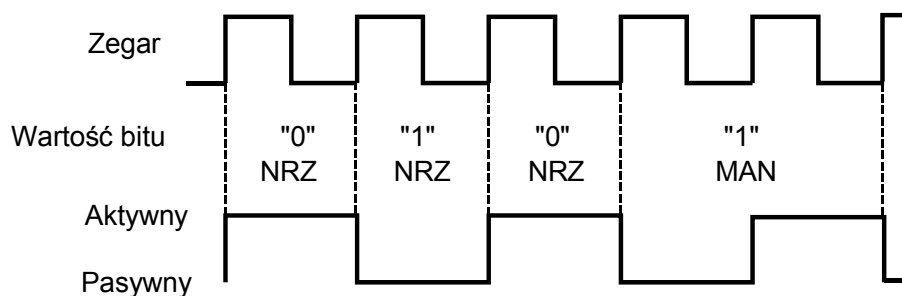
Reprezentacja bitów w kodzie L-Manchester przedstawiona jest na rys. 5.



Rys.5. Reprezentacja bitu w kodowaniu L-Manchester

E-MAN (Enhanced Manchester)

W tej metodzie kodowania, przedstawionej na rys. 6, jeden bit L-MAN występuje w połączeniu z trzema bitami NRZ.

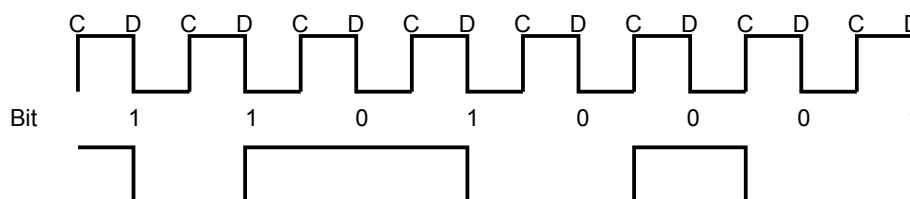


Rys.6. Reprezentacja bitów w kodowaniu E-Manchester

MFM (Modified Frequency Modulation)

Kodowanie bitów metodą MFM odbywa się według następujących zasad (rys. 7):

- punkty zegarowe (C) i tzw. punkty danych (D) występują na przemian w odległościach równych połowie długości pola bitowego,
- zmiana stanu w punkcie danych oznacza wartość bitu równą "1", a brak zmiany - "0",
- pomiędzy dwiema wartościami "0" sygnał zmienia się w punktach zegarowych.



Rys.7. Przykład kodowania bitów metodą MFM

W tabelicy 3 przedstawiono porównanie wybranych własności różnych sposobów kodowania bitów [2]. W drugim wierszu tabeli podano maksymalne możliwe do uzyskania szybkości transmisji dla pewnej przykładowej częstotliwości zegara. Wiersz trzeci podaje, o ile mniejszy jest dla danego sposobu kodowania poziom generowanych zakłóceń elektromagnetycznych w porównaniu z podstawową modulacją PWM.

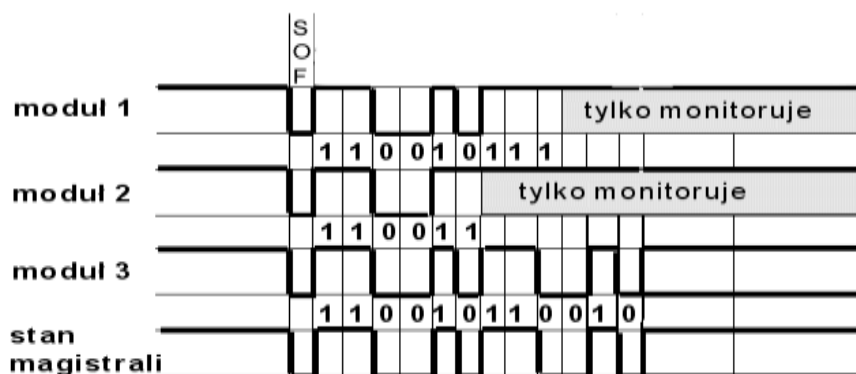
Tablica 3. Porównanie różnych sposobów kodowania bitów

	PWM	VPWM	10-bitowe NRZ	NRZ ze wst. bitów	L-MAN	E-MAN	MFM
Liczba zmian/bit	2	1	≤1,25	≤1,015	≤2	≤1,25	≤1
Maks. szybkość transm.	7,1k	11,2k	13,5k	16,6k	8,4k	13,5k	16,8k
dBV < PWM	P. odn.	9	11	14	5	11	15

3.2 Metody uzyskiwania dostępu do magistrali

Najczęściej stosowanym przy transmisji asynchronicznej sposobem uzyskiwania dostępu do magistrali w sieciach samochodowych, zwłaszcza w sieciach klasy B, jest procedura arbitrażu CSMA/CD (ang. Carrier Sense Multiple Access/Collision Detection).

Jeśli dany moduł ma dane do przesłania, to najpierw "nasłuchuje", co się dzieje na magistrali (Carrier Sense). Jeśli magistrala jest aktualnie zajęta, to moduł czeka na dokończenie transmisji wiadomości. Gdy magistrala jest wolna, oczekujące na uzyskanie do niej dostępu moduły mogą rozpocząć transmisję. O tym, który moduł faktycznie uzyska dostęp do magistrali, decyduje arbitraż, podczas którego bit po bicie porównywane są priorytety komunikatów umieszczone w ich nagłówkach. Każdy moduł transmitujący w danej chwili stan pasywny, widząc na magistrali stan aktywny (wymuszany przez moduł lub moduły o wyższym priorytecie komunikatu), przegrywa arbitraż, przestaje nadawać komunikat i przechodzi do pracy w charakterze odbiornika. Opisany wyżej proces arbitrażu zilustrowany jest przykładowymi przebiegami na rys. 8.



Rys. 8. Przykładowy przebieg procedury arbitrażu

Pomimo swej popularności procedura arbitrażu cechuje się zasadniczą wadą, polegającą na tym, że czas opóźnienia pomiędzy gotowością danego modułu do wysłania danych a uzyskaniem dostępu do magistrali jest nieokreślony. W przypadku dużego natłoku danych na magistrali moduł o niskim priorytecie może czekać na uzyskanie dostępu przez długi czas. Problem ten można wyeliminować w sieciach z transmisją synchroniczną poprzez przydzielenie każdemu modułowi okna czasowego w określonym cyklu (TDMA, z ang. Time Division Multiple Access). W takim przypadku kolizja jest niemożliwa, gdyż każdy moduł może transmitować wyłącznie w przydzielonym mu oknie czasowym. Jednocześnie, przy takim sposobie uzyskiwania dostępu do magistrali, możliwe jest określenie maksymalnego opóźnienia pomiędzy gotowością modułu do transmisji i rozpoczęciem transmisji.

Innym jeszcze sposobem uzyskiwania dostępu do magistrali w sieciach samochodowych, zwłaszcza klasy A, jest protokół master/slave, według którego o dostępie do magistrali modułów podrzędnych decyduje moduł nadrzędny (sterujący) magistrali.

3.3 Medium transmisyjne

W sieciach klasy A, ze względu na minimalizację kosztów i małe wymagania odnośnie do szybkości transmisji, najczęściej stosowanym medium transmisyjnym jest pojedynczy przewód.

Najbardziej popularnym medium transmisyjnym w sieciach klasy B jest nieekranowana skrętka dwuprzewodowa, stosowana do szybkości transmisji sięgających 500kb/s. Pewne zastosowania znajduje również - w bardziej wymagających przypadkach - ekranowana skrętka dwuprzewodowa, do łączenia której wykorzystuje się standardowe złączki do zastosowań w motoryzacji. Nie przewiduje się natomiast szerszego zastosowania w sieciach samochodowych kabli koncentrycznych, głównie ze względu na problemy związane z koniecznością stosowania nietypowych dla zastosowań motoryzacyjnych złączy.

W przypadkach wymagających znacznie zwiększonej szybkości transmisji i odporności na zakłócenia elektromagnetyczne, np. w sieciach klasy C, korzystniejsze jest pod wieloma względami zastosowanie jako medium transmisyjnego włókna optycznego.

3.4 Porównanie wybranych protokołów do sieci samochodowych

Od lat 80. opracowanych zostało co najmniej kilkanaście protokołów komunikacyjnych do multipleksowych systemów okablowania samochodów. Podstawowe własności wybranych protokołów przedstawia tablica 4 [2, 3].

Tablica 4. Porównanie własności wybranych protokołów do sieci samochodowych

	CSC	TTP/A	LIN	CCD	J1850VPWM	J1850PWM
Data powstania	1985	1999	2000	1986	1987	1987
Klasyfikacja wg SAE	Klasa A	Klasa A	Klasa A	Klasa B	Klasa B	Klasa B
Pomysłodawca	Chrysler	TTTech	Audi, BMW, Chrysler, Motorola	Chrysler	SAE, Chrysler, GM	SAE, Ford
Aplikacja	Czujniki	Czujniki	Czujniki	Czujniki	Sterowanie	Sterowanie
Medium transmisyjne	1 przewód	1, 2 przewody lub optyczne	1 przewód	2 przewody	1 przewód	2 przewody
Kodowanie bitów	Specyficzne sygnały	10-bitowe NRZ	10-bitowe NRZ	10-bitowe NRZ	VPWM	PWM
Dostęp do magistrali	Master/Slave	TDMA	Master/Slave	CSMA/CD	CSMA/CD	CSMA/CD
Detekcja błędów	Parzystość	Kody błędów	Suma kontrolna	Suma kontrolna	CRC	CRC
Długość pola danych	1-32 bitów	8 bitów	1, 2, 4, 8 bajtów	1-6 bajtów	0-8 bajtów	0-8 bajtów
Potwierdzanie odbioru	Tak		Tak		Tak	Tak
Maksymalna szybkość transmisji	1kbit/s	10kbit/s	20kbit/s	7,812kbit/s	10,4kbit/s	41,6kbit/s
Długość magistrali	Typ. 30m	Nie sprecyzowana	Nie sprecyzowana	Typ. >30m	Maks. 40m	Maks. 40m
Liczba modułów	Typ. 32	Nie sprecyzowana	4-16	Nie sprecyzowana	Nie sprecyzowana	Nie sprecyzowana

(Kontynuacja tablicy na następnej stronie)

W zakresie protokołów do sieci klasy A najnowsze i najlepiej dostosowane do obecnych i przyszłych rozwiązań są protokoły TTP/A i LIN. Protokół TTP/A został opracowany przede wszystkim jako protokół sieci łączącej czujniki i współpracującą z magistralą TTP/C. Synchroniczna metoda transmisji w magistralach TTP/A predestynuje ją do zastosowania w systemach, w których wymagane są małe i przewidywalne opóźnienia transmisji. Duże możliwości w zakresie diagnostyki i elastyczność sprawiają, że protokół ten jest funkcjonalnie bogatszy od protokołu LIN, który skupia się na podstawowych funkcjach potrzebnych do komunikacji pomiędzy inteligentnymi czujnikami. Niemniej jednak protokół LIN jest intensywnie rozwijany i lansowany dzięki przewidywanym niskim kosztom implementacji.

Tablica 4. Porównanie własności wybranych protokołów do sieci samochodowych (c.d.)

	ABUS	CAN	VAN	TTP/C	Byteflight
Data powstania	1987	1988	1990	1999	1999

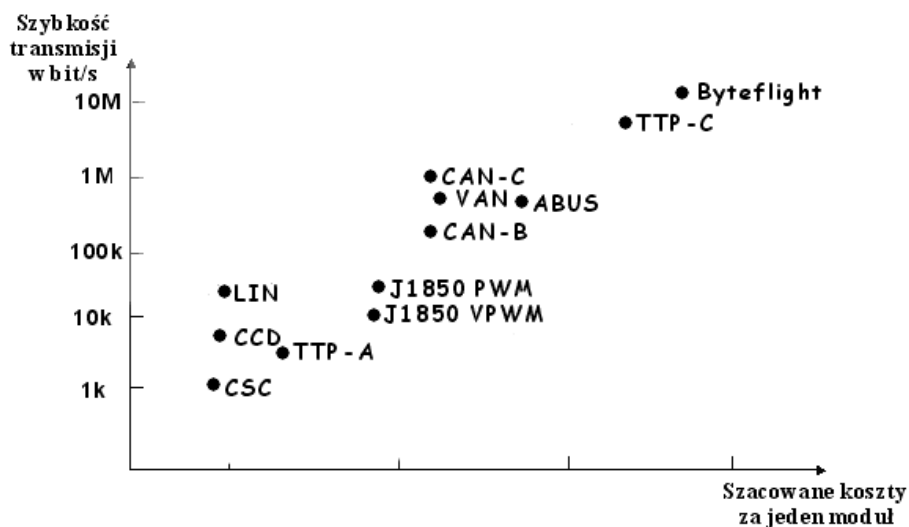
Multipleksowe systemy okablowania pojazdów samochodowych

Klasyfikacja wg SAE	Klasa B i C	Klasa B i C	Klasa B i C	Klasa C	Klasa C
Pomysłodawca	VW	Bosch	VW	TTTech	BMW
Aplikacja	Sterowanie	Sterowanie	Sterowanie	Sterowanie w czasie rzecz.	Sterowanie w czasie rzecz.
Medium transmisyjne	1 przewód	2 przewody	2 przewody	2 przewody lub optyczne	Optyczne
Kodowanie bitów	NRZ	NRZ ze wstawianiem bitów	E-MAN	MFM	10-bitowe NRZ
Dostęp do magistrali	CSMA/CD	CSMA/CD	Master/Slave	TDMA	TDMA CSMA/CD
Detekcja błędów	Kontrola bitów	CRC	CRC	CRC	CRC
Długość pola danych	2 bajty	0-8 bajtów	0-28 bajtów	0-16 bajtów	0-12 bajtów
Potwierdzanie odbioru		Tak	Tak	Tak	
Maksymalna szybkość transmisji	500kbit/s	1Mbit/s	1Mbit/s	2Mbit/s	10Mbit/s
Długość magistrali	Typ. 30m	Maks. 1km Typ. 40m	Maks. 20m	Typ. 20m	Nie sprecyzowana
Liczba modułów	Typ. 32	Typ. 2-20	Maks. 16	Typ. 4-40	Do 22

W grupie protokołów sieci klasy B bardzo zbliżone są protokoły CAN i VAN. Protokół VAN pod kilkoma względami przewyższa protokół CAN, jednak ze względu na wcześniejsze opracowanie i zapewne z powodów marketingowych - najbardziej rozpowszechnione są obecnie w klasie B magistrale CAN. W Stanach Zjednoczonych dużą popularność miała magistrala J1850, jednak i tam wkracza obecnie magistrala CAN.

Najtańsza w eksploatacji i montażu i tym samym najbardziej popularna w klasie C jest magistrala CAN. Sprzyja temu też powszechna dostępność licznych kontrolerów z zaimplementowanym protokołem CAN. Do zastosowań stawiających wysokie wymagania w zakresie niezawodności, łatwej testowalności i czasów opóźnień bardziej odpowiednia jest magistrala synchroniczna TTT/C. Istotną wadą tego protokołu jest jednak konieczność rekonfiguracji każdego modułu po rozszerzeniu systemu o nowe elementy. Zasadnicze, z punktu widzenia zastosowań w sieciach klasy C wady protokołu CAN eliminowane są w synchronicznej wersji tej magistrali (TT-CAN). Duże nadzieje wiązane są w tej klasie z protokołem Byteflight.

Na kolejnym rysunku przedstawione zostało jeszcze jedno porównanie przedstawionych w tablicy 4 protokołów pod względem szybkości transmisji i kosztu jednego modułu dołączanego do magistrali [3].



Rys.9. Porównanie protokołów komunikacyjnych pod względem szybkości transmisji i kosztu pojedynczego modułu

4. PODSUMOWANIE

W niniejszym referacie omówione zostały podstawowe zagadnienia związane z wprowadzaniem sieci do transmisji danych do pojazdów samochodowych w miejsce konwencjonalnego okablowania. Przegląd ten w znacznej mierze opiera się na dwóch pracach [2, 3], w których można znaleźć pogłębienie poruszonych tutaj zagadnień, a także wykazy licznych publikacji na ten temat.

5. LITERATURA

- [1] CHOWANIETZ E.: Automobile electronics. Newnes, Oxford, 1995.
- [2] JURGEN R.: Automotive electronics. McGraw-Hill, 1999.
- [3] WIELGOS R.: Analiza porównawcza magistralowych systemów okablowania samochodów osobowych. Praca dyplomowa magisterska. Instytut Elektroniki Politechniki Śl., Gliwice, 2001.

MULTIPLEX WIRING SYSTEMS FOR MOTOR VEHICLES

Abstract: The paper is devoted to a general comparison of basic features of data communication protocols for multiplex wiring systems for motor vehicles. First, the reasons for the introduction of such multiplex systems are explained. Next, a division of automotive multiplex networks for data communication into classes is presented, together with the basic requirements for each class. Then typical bit encoding techniques, bus access methods and the choice of the transmission medium are discussed. A comparison between various network protocols, developed by the leading world vehicle manufacturers is presented in the form of a table, which is the essential part of this paper. Another, graphical, comparison of these protocols, concerning the cost per module and the maximum transmission rate, is also presented in the final part of the paper.

Recenzent: dr hab. inż. Edward HRYNKIEWICZ, prof. Politechniki Śląskiej