

THE CAN BUS; DEVELOPMENT AND ADAPTATION POSSIBILITY IN THE ETHERNET NETWORK

Radosław Wróbel

Wroclaw University of Technology
Institute of Machine Design and Operation
Łukasiewiczza I. Street 7/9, 50-371 Wrocław
tel.: +48 660406004
e-mail: radoslaw.wrobel@pwr.wroc.pl

Abstract

The article includes discuss of CAN bus's standard, that since 2008 has been obligatory standard in every new car. The history, evolution and develop of standard is been discuss. Pay particular attention to electrical and network parameters of the standard, that was frequent avoid in articles. Author performed restrictions and standard topologies utilize on CAN bus network. The build of two obligatory CAN bus' frames was performed in details; ISO11898 and ISO11519 with the possibility and requirement, relate to mentions, is being performed. The way of sending messages for diagnostic and recessive frames and algorithm of existence recessive messages is been described. The last part of the article describes most popular Philips and Realtec chips. They enable to convert CAN protocol into Ethernet network that is the most popular standard in local area network. That conversion will be next necessary step in nowadays on-board diagnosis' develop. On board diagnosis of automotive vehicle is going to self-reliance of decision circuits. The most probably is independent decision of diagnostic and prediagnostic decision circuit in form of processor takes steps to contact with service. Therefore it must be equip in transform' circuit to another standards - into Ethernet.

Keywords: CAN, Ethernet On-board diagnosis, sensors

MAGISTRALA CAN; ROZWÓJ I MOŻLIWOŚĆ ADAPTACJI W SIECI ETHERNET

Streszczenie

Artykuł zawiera omówienie standardu magistrali CAN, która od 2008 roku jest obligatoryjnym standardem w każdym nowo wyprodukowanym pojeździe samochodowym. Omówiona została historia standardu jego rozwój i możliwości dalszej ewolucji. Zwrócono szczególną uwagę na elektryczne i sieciowe parametry standardu, najczęściej pomijane w literaturze. Autor przedstawił ograniczenia i standardowe topologie sieci, wykorzystywane w magistrali CAN. Szczegółowo omówiona została budowa ramki dwóch standardów, obowiązujących w CAN; ISO11898 oraz ISO1151; ze szczególnym uwzględnieniem możliwości i wymagań, dotyczących wymienionych standardów. Przedstawiono sposób przekazywania wiadomości przez ramki diagnostyczne i recesywne, a także algorytm powstawania wiadomości recesywnej. Ostatnia część artykułu opisuje najpopularniejsze układy scalone firmy Philips oraz Realtec. Umożliwiają one konwersję protokołu CAN w sieć Ethernet, będącej obecnie najpopularniejszym standardem w lokalnych sieciach komputerowych. Taka konwersja wydaje się być kolejnym, koniecznym krokiem w rozwoju współczesnej diagnostyki pokładowej pojazdów samochodowych. Diagnostyka pokładowa pojazdów samochodowych zmierza do usamodzielnienia się układów decyzyjnych. Wielce prawdopodobne wydaje się, że poprzez diagnostykę i prediagnostykę, układ decyzyjny w postaci procesora sam podejmie decyzję o kontakcie z serwisem. Tym samym będzie musiał być wyposażony w układ transformujący do innych standardów w tym - Etherne.

Słowa kluczowe: CAN, Ethernet, pokładowa diagnostyka samochodowa, czujniki

1. Wprowadzenie

W pojeździe samochodowym zastosowanie znajdują prawie wszystkie czujniki, stosowane w innych dziedzinach inżynierii: czujniki temperatury, stężenia gazów, siły, momentów, ciśnienia,

przyspieszenia, drgań, prędkości, a także przepływowomierze.

Czujnik przetwarza badaną wielkość fizyczną lub chemiczną w sygnał elektryczny. Każdy czujnik charakteryzują dwa równania: wejściowe (1) i wyjściowe (2).

$$\Phi = f(E, Y), \quad (1)$$

$$E = g(\Phi, Y), \quad (2)$$

gdzie:

Φ - badana wielkość,

E - elektryczny sygnał wyjściowy,

Y - zakłócenia.

Elektryczny sygnał wyjściowy czujnika jest proporcjonalny do badanej wielkości wejściowej. Zauważalny jest wpływ wielkości zakłócających, opisanych jako składnik funkcji (którego nie można bagatelizować).

Wyjściowy sygnał elektryczny, proporcjonalny do wejściowej wielkości mierzonej, jest nośnikiem informacji o substancji badanej.

Ogólnie stosowany tor pomiarowy nie wyróżnia się innowacyjnością w stosunku do diagnostyki w innych dziedzinach inżynierii. Jest to obwód zamknięty o przebiegu: element badany - czujnik - sterownik - urządzenie wykonawcze - element badany. W torze tym wyróżnia się zjawisko sprzężenia zwrotnego, polegające na zmianie parametrów, które wpływają na element badany, na podstawie porównań i obliczeń zachodzących w sterowniku. Sterownik to urządzenie decyzyjne, które najczęściej jest systemem mikroprocesorowym.

Interfejsem pomiędzy czujnikiem, a mikroprocesorowym sterownikiem jest magistrala CAN, będąca obowiązującym standardem we wszystkich nowych pojazdach samochodowych [1, 2, 3].

2. Rozwój CAN

Po raz pierwszy, funkcjonalny model magistrali został przedstawiony w 1986 roku [4] na konferencji SAE (*Society of Automotive Engineers*), jako produkt pochodzący z laboratoriów kompanii Roberta Boscha. W ciągu następnych lat systemy, oparte na magistrali CAN, zrewolucjonizowały rynek samochodowy. Mimo wyraźnej monopolizacji rynku przez magistralę CAN, opracowano inne, konkurencyjne rozwiązania, do których należą m. in. InterBus-S, Profibus, FIP, EIB, LON. Rozwiązania te, charakteryzują się znacząco innowacyjnością, która już jest wykorzystywana w różnych gałęziach inżynieryjnych. Kapitulacje tych standardów na froncie motoryzacyjnym względem CAN można tłumaczyć trzema powodami: po pierwsze późniejsze opatentowanie standardu, po drugie brak odpowiedniej ilości peryferiów w postaci specjalizowanych układów, a więc znaczna cena, po trzecie blokowanie innych systemów przez wielkie koncerny.

Pierwotna specyfikacja CAN została wprowadzona przez firmę BOSCH. Wyróżnia się dwie wersje [4]:

[1] Standardowy CAN (SCAN), wersja 2.0A; używa 11 bitów identyfikacji w nagłówku ramki,

[2] Rozszerzony CAN (ECAN), wersja 2.0B, używa 29 bitów identyfikacji w nagłówku ramki.

Wyróżnia się dwa standardy ISO dla CAN. Różnica występuje w szerokości pasma warstwy fizycznej; ISO 11898 dotyczy szybkich aplikacji do 1 Mbps. ISO 11519 aplikacji do 125 kbps. Tab. 1-2 przedstawia typowe wartości napięć, występujących w magistrali.

Tab. 1. Poziomy napięć sygnałów, występujących w CAN dla ISO11898

Tab. 1. The values of signals in the CAN serial bus for ISO 11898

Sygnał	Stan odwrócony				Stan dominujący	
	min	nominalnie	max	min	nominalnie	max
CAN-High	2,0V	2,5V	3,0V	2,75V	3,5V	4,5V
CAN-Low	2,0V	2,5V	3,0V	0,5V	1,5V	2,25V

Tab. 2. Poziomy napięcie sygnałów, występujących w CAN dla ISO 11519
 Tab. 2. The values of signals in the CAN serial bus for ISO 11519

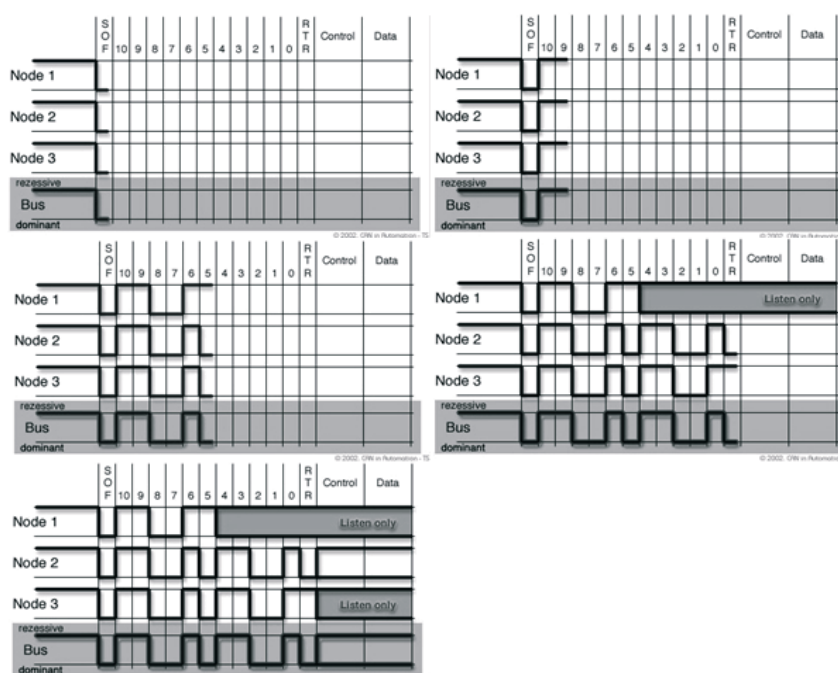
Sygnał	Stan odwrócony			Stan dominujący		
	min	nominalnie	max	min	nominalnie	max
CAN-High	1,6V	1,75V	1,9V	3,85V	4,0V	5,0V
CAN-Low	3,1V	3,25V	3,4V	0V	1,0V	1,15V

Standard ISO 11898-2 definiuje dużą szybkość transmisji na poziomie warstwy fizycznej. Linia magistrali musi być dopasowana w celu uniknięcia odbić fali. Wykorzystuje się do tego rezystor, którego parametry określa norma i mieszczą się w zakresie od 100 Ω do 130 Ω (nominalnie 120 Ω). Dopasowanie impedancyjne nie jest konieczne w przypadku CAN, według normy ISO 11519 w wersji wolnej transmisji (prędkość transmisji jest na tyle mała, że zjawisko odbicia jest znikome).

3. Budowa i działanie magistrali CAN

Topologią CAN jest magistrala, oparta o dwuprzewodowy kabel miedziany typu skrętka. Maksymalna długość magistrali to 40 m, a połączenia z czujnikami (odgałężenia) nie powinny być dłuższe niż 0,3 m [4].

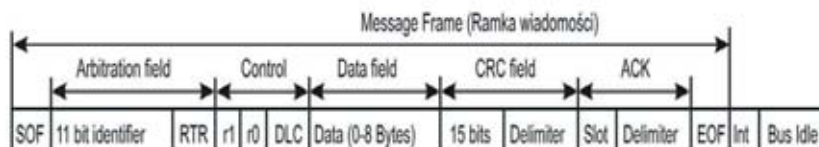
Wymiana informacji w sieci, opartej na magistrali CAN, może odbywać się dwojako: przez rozgłaszanie lub adresowanie. Rozgłaszanie, podobnie jak w przypadku globalnych systemów informacyjnych, opartych na modelu OSI/ISO, polega na wysłaniu wiadomości do każdego dostępnego węzła sieci. W tym przypadku ramka danych (Rys. 2-3), wysłana przez adresującego, nie jest opatrzona informacją, zawierającą adres docelowy. Takie postępowanie warunkuje szybsze przekazywanie informacji w sieci przez skrócenie czasu odczytywania adresu w węźle odbiorczym. Adresowanie rozgłoszeniowe jest stosowane tylko w przypadku ramek o wysokim priorytecie (aby uniknąć zjawiska burzy rozgłoszeń w przypadku dużych topologii), zawierających wyjątkowo istotne informację (np. periodycznego pomiaru ciśnienia). Wówczas węzeł sieci samodzielnie decyduje, czy rozgłoszona informacja jest mu potrzebna. Rys. 1 przedstawia mechanizm powstawania informacji o wysokim priorytecie.



Rys. 1. Mechanizm powstania ramki recesywnej magistrali CAN [4]
 Fig. 1. Recessive frame creation mechanism in the CAN serial bus [4]

Ramka oparta na bezpośrednim adresowaniu jest rozszerzona o dodatkowy adres odbiorczy, zawarty w bloku arbitrażowym. W tym przypadku informacja jest przeznaczona tylko dla jednego węzła sieci. Niedogodność, polegająca na długości ramki, jest kompensowana brakiem rozgłaszania do tych stacji, którym wysłana informacja jest zbędna, ponieważ nie jest dla nich przeznaczona (takie stacje po prostu ignorują ramkę). Jeżeli węzeł, dla którego przeznaczona jest ramka, stwierdzi że informacja w niej zawarta jest mu potrzebna, wysyła potwierdzenie. W przypadku nieotrzymania potwierdzenia stacja nadawcza ponownie wysyła ramkę z informacją.

Protokół CAN posiada dwa rodzaje ramek wiadomości [4, 5]. Standardowa ramka wiadomości (wersja 2.0A) zawiera siedem pól bitowych (Rys. 2).



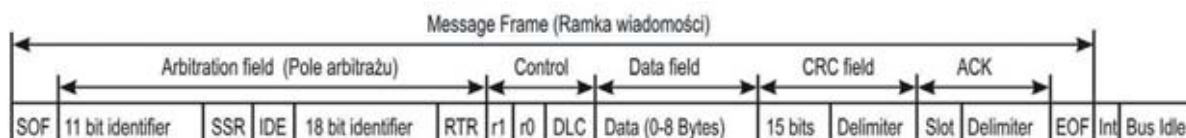
Rys. 2. Standardowa ramka wiadomości dla wersji 2.0A[5]

Fig. 2. The standard message frame for the version 2.0A[5]

W ramce wyróżnia się poniżej wymienione pola:

1. Pole startowe SOF (*ang. Start of Frame*). Jest to dominujący bit (poziom logiczny „0”), oznaczający początek ramki,
2. Pole arbitrażu (*ang. arbitration field*) zawierające 11 bitów wiadomości i bit RTR (*ang. remote transmission request*). Dominujący bit RTR (poziom logiczny „0”) oznacza, że wiadomość zawiera dane. Wartość zanegowana (logiczne „1”), oznacza że wiadomość jest żądaniem przez jeden z węzłów o dane z kilku innych węzłów magistrali,
3. Pole kontroli CF (*ang. control field*), zawierający sześć bitów; bity r0 i r1, zarezerwowane do użycia w przyszłości, cztery bity DLC (*ang. data length code*), oznaczające liczbę bajtów w polu danych,
4. Pole danych (*ang. data field*) zawierające od zera do ośmiu oktetów bitów,
5. Pole CRC, zawierające 15 bitów cyklicznego kodu nadmiarowego,
6. Pole potwierdzenia (*ang. acknowledge field*), zawierające dwa bity. Pierwszy jest bitem, który jest transmitowany jako bit recesywny, ale jest następnie nadpisywany przez dominujące bity transmitowane ze wszystkich innych węzłów, które pomyślnie odebrały wiadomość. Drugi bit jest bitem wypełnienia,
7. Pole końca ramki EOF (*ang. end of frame*), zawiera siedem bitów,
8. Ostatnim polem jest Int (*ang. intermission field*), zawierające trzy bity. Po tych trzech bitach okresowo magistrala jest uwalniana. Czas bezczynności (*ang. bus idle time*) może być dowolnej długości zawierającej zero.

Format 2.0B dostarcza 29 bitów identyfikatora w przeciwieństwie do 11 bitów formatu 2.0A (Rys. 3).



Rys. 3. Standardowa ramka wiadomości dla wersji 2.0B[5]

Fig. 3. The standard message frame for the version 2.0B[5]

Różnice pomiędzy ramkami standardu A i B, zawarto poniżej [5]:

1. Wersja 2.0B zawiera pole arbitrażu, składające się z dwóch pól bitów identyfikacji. Pierwsze

(bazowe ID) ma 11 bitów długości dla zapewnienia kompatybilności z wersją 2.0A. Drugie pole (rozszerzenie ID) ma 18 bitów co daje łączną długość 29 bitów,

- Odróżnienie pomiędzy formatami wykonano przy użyciu bitu identyfikatora rozszerzenia IDE (*ang. identifier extension*),
- Bit SSR (*ang. substitute remote request*) zastępczego dalekiego żądania jest zawarty w polu arbitrażu. Bit wskazuje na priorytet wiadomości.

W magistrali CAN można wyróżnić ponadto dwie dodatkowe ramki; ramkę odległą i ramkę błędu [4, 5]. Ramka odległa stosowana jest przez węzły sieci, jako żądanie otrzymania ramki o takim samym priorytecie (identyczne pole arbitrażu). Ramka błędu ma za zadanie przekazania wszystkim węzłom informacji o błędzie. W tym wypadku wszystkie węzły generują taką samą ramkę błędu.

4. CAN i Ethernet

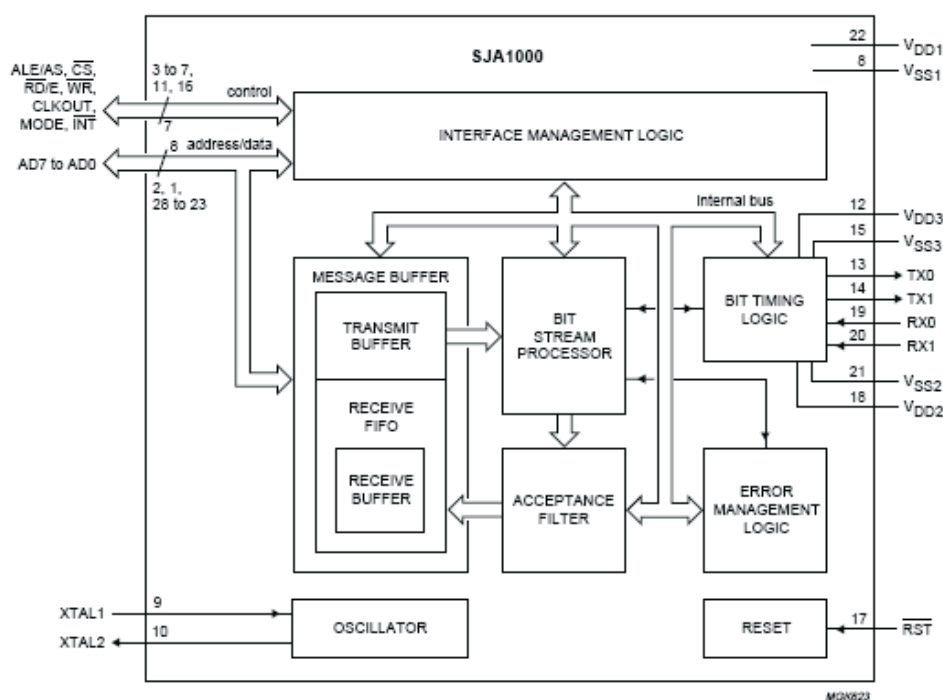
Konwersja protokołu CAN w TCP odbywa się na poziomie sprzętowym. Na rynku dostępne są konwertery CAN - Ethernet. Konwersję programową wykonuje się bardzo rzadko. Jest ona mało efektywna i kosztowna.

Możliwe jest zastosowanie w sieci Ethernet protokołu Modbus/TCP. Osadza on ramkę Modbus w polu danych ramki TCP [5].

Kontrola poprawności transmisji odbywa się za pomocą standardowych mechanizmów TCP, nie zaś poprzez sumę kontrolną Modbusa. Protokół umożliwia nadzór nad sterownikiem z dowolnego komputera w sieci Intranet lub Internet, nie posiada on jednak odpowiednich zabezpieczeń, co czyni go podatnym na ataki z zewnątrz. Możliwe jest przejęcie poufnych danych lub nawet przejęcie kontroli nad urządzeniem [7].

5. Układy konwertujące CAN w Ethernet

W większości konwerterów obecnych na rynku stosuje się układy scalone Philips, rzadziej Realtec, Fujitsu i innych producentów. W zależności od rodzaju interfejsu zastosowane są różne mikrokontrolery. Pozycję dominującą na rynku zdobył układ SJA1000 Philipsa.



Rys. 4. Budowa układu Philips SJA1000[9]
Fig. 4. Philips SJA1000 integrated circuit schematics [9]

Philips SJA1000 jest autonomicznym układem CAN realizującym zdalnie wysyłanie i odbieranie ramek. Realizuje on zatem łącza danych. Warstwa fizyczna jest realizowana przez nadajnik CAN reprezentowany układem 82C250 [8].

Inny, mniej popularny układ wyprodukowany przez firmę Realtec; RTL8019AS zintegrowany kontroler sieci Ethernet umożliwiające proste wykonanie karty z możliwościami transmisji full-duplex. Komunikacja pomiędzy RTL8019AS a mikrokontrolerem odbywa się za pomocą magistrali ISA. Sterowanie kontrolerem polega na wpisywaniu odpowiednich wartości do rejestrów sterujących i konfiguracyjnych kontrolera oraz na odczycie jego rejestrów statusu i danych. Wybór danego rejestru do zapisu/odczytu odbywa się przez wstawienie jego adresu na 5-liniowej magistrali adresowej.

Należy dodać, że sterowanie kontrolerem sieci najczęściej odbywa się za pomocą popularnych mikrokontrolerów z rodziny AVR firmy Amtel [4].

Literatura

- [1] Merkisz, J., Mazurek, S., *Pokładowe systemy diagnostyczne pojazdów samochodowych*, Wyd. WKŁ, Warszawa 2007.
- [2] Rokosch, U., *Układy oczyszczania spalin i pokładowe systemy diagnostyczne samochodów OBD*, Wyd. WKŁ, Warszawa 2007.
- [3] Elektor Electronics *CAN bus*, Segment B.V., the Netherlands 1998.
- [4] <http://www.canopen.pl>.
- [5] *Elektronika Praktyczna Magistrala CAN*, nr 1/2000.
- [6] Milkuszka, W., Trybus, B., *Konwersja protokołów w rozproszonym systemie sterowania, a PSW/WWT-CAN*, Krynica 2001.
- [7] *Biuletyn Automatyki* Nr 48, (2/2006), <http://www.astor.com.pl>.
- [8] <http://www.ely.pg.gda.pl/~rkraj/can/parametr.htm#CZASY>.
- [9] Philips Semiconductors, *SJA1000 Stand - alone CAN controller Data Sheet*, 1999 Nov. 04.