

## CAR ASSEMBLY MANAGEMENT WITH CAN

Michał Śmieja

University of Warmia and Mazury in Olsztyn  
Faculty of Technical Sciences, Mechatronic Faculty  
Słoneczna Str. 46A, 10-710 Olsztyn, Poland  
tel.: +48 89 5245101, fax: +48 89 5245150  
e-mail: mechatronika@uwm.edu.pl

### Abstract

Ongoing scientific developments connected with processing information as well as new methods to find compile and utilize it, has a direct impact on automotives. Such a complex object as a car, in term of the versatility connected with its components and their numerous functions demands the transfer of a vast amount of information. These procedures, which are conducted by the most highprofiled producers and their associates in the field of preparing and implementing new standards in network communication, are continually being modified and advanced due to increasing demands for greater efficiency and improved reliability to data transmission. This article will attempt to introduce the CAN network as an element responsible for integrating and coordinating the working process of such as complex system as the modern car. In the first part of this article there is a review of the basic solutions in automotives such as K-Line, LIN, CAN, Flex Ray for the purpose of outlining their ability to fulfill the demands imposed by car users and producers and the limitations that are subsequent to the various realization and their degree of complexity. Following on from this, there is a basic communication description of CAN and some applications of this standard in the modern car.

Observations and remarks enclosed in the final part reports on the prognosis concerning the information described in this article with on emphasis on safety and ecology.

**Keywords:** CAN, transmission, network, integration, communication, car

## ZARZĄDZANIE PODZESPOŁAMI POJAZDU SAMOCHODOWEGO ZA POMOCĄ SIECI CAN

### Streszczenie

Ciągły rozwój nauk związanych z szeroko rozumianym przetwarzaniem informacji oraz nowe możliwości jej pozyskiwania i wykorzystania, znajdują bezpośrednie odbicie w technice motoryzacyjnej. Złożoność obiektu jakim jest samochód pod względem różnorodności procesów i zjawisk zachodzących w nim począwszy od termodynamiki skończywszy na psychice kierowcy wiąże się nieodłącznie z przesyłaniem dużej ilości informacji. Prowadzone przez czołowych producentów samochodów oraz ich kooperantów prace w zakresie opracowania i wdrożenia nowych standardów komunikacji sieciowej determinowane są coraz wyższymi wymaganiami dotyczącymi wydajności i niezawodności systemów odpowiedzialnych za transmisję danych. W niniejszym artykule podjęto próbę przedstawienia sieci CAN jako elementu integrującego i koordynującego działanie złożonego systemu, jakim jest współczesny pojazd samochodowy. Dokonano przeglądu obecnych w motoryzacji rozwiązań sieciowych takich jak K-Line, LIN, CAN, Flex Ray pod kątem ich zdolności do spełnienia narzuconych przez producentów i użytkowników oczekiwań, a także ze względu na ograniczenia natury ekonomicznej oraz technicznej wynikające z różnego stopnia złożoności poszczególnych realizacji. Przedstawiono podstawowy opis komunikacji w standardzie CAN, oraz aplikacje tego standardu we współczesnych pojazdach samochodowych.

Ujęte w podsumowaniu uwagi starają się przedstawić obecne prognozy dotyczące omawianych zagadnień uwzględniając silnie akcentowane w ostatnich latach kwestie bezpieczeństwa i ekologii.

**Słowa kluczowe:** CAN, transmisja, sieć, integracja, komunikacja, samochód

### 1. Wprowadzenie

Od ponad 130 lat samochód pozostaje obiektem, który jak żaden inny stanowi inspirację, a zarazem pole wykorzystania osiągnięć niemalże wszystkich dziedzin techniki i gospodarki.

Ujmując rozwój samochodu w perspektywie czasowej należałoby zwrócić uwagę na fakt, że jego zasadnicze cechy konstrukcyjne, jak zdolność poruszania się na co najmniej trzech kołach z możliwością kontrolowania kierunku jazdy oraz własny napęd w postaci silnika wykorzystującego zmagazynowaną w paliwie energię, nie zmienił się właściwie od czasów pierwszych pojazdów rodzących się w warsztacie Karla Benz. Traktując współczesny samochód jako jego udoskonaloną wersję trudno nie zauważyć ogromnych różnic, które w sposób oczywisty je dzielą.

Podając temat sieci wymiany danych w motoryzacji, rozwój konstrukcji samochodów należałoby podzielić na dwa zasadnicze etapy. Pierwszy etap związany jest z modyfikacją poszczególnych elementów i podzespołów, jako elementów funkcjonujących właściwie samodzielnie. Oczywiście z dzisiejszego punktu widzenia wspólne założenia nadające kierunek pracom konstruktorskim dotyczące np. silnika i hamulca ograniczono wówczas do uwzględnienia przewidywanych obciążeń przy rozpędzaniu i zatrzymywaniu pojazdu. Sprowadzało się to do prostej reguły: mocniejszy silnik – skuteczniejsze hamulce. Etap powszechnego wykorzystania elektroniki oraz możliwości kontrolowania pracy niezależnych do tej pory podzespołów zmienił radykalnie wcześniejszy sposób podejścia do tych zagadnień. Połączenie elektroniki z silnie rozwijającą się informatyką otworzyło nowe obszary w technice motoryzacyjnej.

Najlepszą ilustracją obecnych tendencji w projektowaniu samochodu może być fakt, że pojedyncza rejestrowana w trakcie jazdy wartość sygnału prędkości wykorzystywana jest równocześnie do sterowania pracą silnika, pracą układu przeniesienia napędu, charakterystyką zawieszenia, charakterystyką układu kierowniczego, charakterystyką układu hamulcowego, włącznie z geometrią nadwozia (wysuwany automatycznie spojler), czy głośnością instalacji audio. Podany przykład jest naturalnie dużym uproszczeniem. W rzeczywistych systemach liczba sygnałów oraz sposobów wzajemnego oddziaływania poszczególnych elementów na ich stan i zachowanie jest znacznie większa. Ilość informacji związana z tak dużą złożonością systemu, wymusza konieczność stosowania sieci zdolnej do jej niezawodnego przesyłania.

## 2. Przegląd rozwiązań sieciowych w motoryzacji

Podstawowym kryterium doboru sieci nadającym sens jej obecności na pokładzie jest naturalnie zdolność do przesłania dostatecznej ilości potrzebnej informacji w określonym czasie. Tak sformułowane zadanie jest efektem kompromisu między wymaganiami komunikującego się obiektu, a możliwościami sieci.

Wymagania stawiane przez obiekt sieciom informatycznym dotyczą przede wszystkim:

- przepustowości informacyjnej - ilość wysyłanej i odbieranej w czasie informacji,
- determinizmu czasowego - dopuszczalnego opóźnienia między momentem wysłania i odebrania informacji,
- ilości, lokalizacji i konfiguracji uczestników transmisji,
- poziomu wiarygodności przesyłanej informacji (niezawodność, wymagany stopień bezpieczeństwa).

Realizacja sieci mającej sprostać tym założeniom ograniczona jest wieloma czynnikami, z których najistotniejsze to:

- możliwości technologiczne i techniczne (odporność na zakłócenia, masa i wymiary medium, zdolność propagacji sygnału na określone odległości),
- łatwość i elastyczność aplikacji (możliwość rekonfiguracji, łatwość serwisowania i diagnostyki, możliwości rozszerzania o nowe elementy sieci, łatwość przeniesienia istniejącej realizacje na kolejny model samochodu),
- koszt realizacji - rachunek ekonomiczny.

Bazując na powyższych założeniach oraz doświadczeniach uzyskanych w trakcie wdrażania i eksploatacji różnych modeli sieci wypracowano pewne ogólne sposoby ich klasyfikacji. Pod względem prędkości transmisji danych przyjęto (wg SAE J2057) [1] trzy klasy:

- klasa A low speed data communication <10kbits/s,

- klasa B <125kbit/s ,
- klasa C <1Mbits/s.

W nowszych opracowaniach (np. [3]) autorzy poszerzają listę klas o klasy:

- klasa Diagnostyka <10kbit/s,
- klasa A <25kbit/s,
- klasa C+ >1Mbit/s,
- klasa Infotainment >10Mbit/s (klasa D ).

Należy zaznaczyć że granice między klasami są płynne. Podział ten nie przypisuje klasom żadnej konkretnej sieci pozostając jedynie przy podaniu przedziału możliwych do uzyskania prędkości transmisji. Klasy wyższe spełniają wymagania stawiane klasom niższymi (np. klasa B spełnia wymagania klasy A [1]).

Inny rodzaj klasyfikacji odwołuje się raczej do poszczególnych urządzeń i wymagań związanych ze sposobem ich funkcjonowania oraz pojazdem jako elementem otoczenia. Wymieńmy tu:

- systemy sieciowe wykorzystywane w sterowaniu podzespołami samochodu i układami bezpieczeństwa, w tym: sterowanie pracą silnika, układu przeniesienia napędu, układu hamulcowego, układu kierowniczego, układu zawieszenia, układu SRS,
- systemy sieciowe ułatwiające zarządzanie elementami nadwozia, w tym: sterowanie światłami, sterowanie siłownikami regulacji foteli, lusterek, klimatyzacja itd.,
- systemy sieciowe integrujące podsieci i interfejsy serwisowe, w tym: komunikacja z elementami pojazdu dla celów diagnostyki, monitorowania aktualnych parametrów pojazdu, modyfikacji oprogramowania,
- systemy sieciowe do transmisji audio video oraz systemy łączności z otoczeniem zewnętrznym (GPRS).

Powyższy sposób klasyfikacji nie jest sformalizowany, istnieje zatem również wiele innych podziałów przyjętych przez poszczególne firmy lub środowiska zajmujące się zagadnieniami sieci w pojazdach. Taki stan rzeczy wprowadza nieco zamieszania w używanej nomenklaturze. Nie zmienia to jednak użyteczności zaprezentowanego podejścia do zagadnień wymiany informacji w obecnie projektowanych i produkowanych samochodach.

W ramach powyższej klasyfikacji należałoby wydzielić dwie istotne grupy: systemy wymagające sieci deterministycznych czasowo oraz systemy, dla których taka cecha jest drugorzędna.

Najbardziej wymagająca z punktu widzenia bezpieczeństwa eksploatacji jest pierwsza grupa urządzeń, dla której stosuje się takie sieci jak: Byteflight [10], Flexray [11] (stanowiący rozwinięcie Byteflight), TTP (TTP/C time triggered protocol dla klasy C wg SAE), oraz CAN [9] (również w wersji TTCAN – time triggered CAN). Najistotniejszą właściwością tej grupy jest konieczność spełnienia najwyższych wymagań pod względem determinizmu czasowego, co na ogół podyktowane jest pracą tych podzespołów w trybie realtime (czasu rzeczywistego).

Dodatkowym wyzwaniem stawianym przed sieciami obsługującymi wymianę informacji w tych podzespołach jest rozwój technik X-by wire. Najistotniejszym warunkiem stawianym przed realizacjami X-by wire jest zapewnienie bezpieczeństwa i niezawodności na poziomie nie niższym niż w rozwiązaniach tradycyjnych. Wymienione sieci odpowiadają w większości klasom prędkości C i C+.

Wiele urządzeń we współczesnym samochodzie nie wymaga tak radykalnego reżimu czasowego, a ewentualne opóźnienia w przesyłaniu informacji rzędu dziesiątych części sekund nie mają istotnego wpływu na ich działanie czy współpracę. Do sterowania światłami, położeniem lusterka czy temperaturą wnętrza wystarcza zastosowanie sieci klasy A czy B bez konieczności zapewnienia determinizmu czasowego. Stosuje się tu głównie sieci CAN oraz LIN (jak określa ją część autorów – tańszą alternatywę do CAN [3]).

Zorganizowany przepływ informacji na temat ogromnej ilości parametrów i zmiennych, na jaki pozwala zastosowanie systemów sieciowych stwarza bardzo dobre warunki do wykorzystania tych danych na potrzeby diagnostyki. Najistotniejszym czynnikiem, który wymusił rozwój w tej dziedzinie jest pojawienie się systemu diagnostyki pokładowej OBD [2]. Równocześnie dostęp do

elementów odpowiedzialnych za sterowanie poszczególnych układów pozwala na dużą elastyczność w zakresie modyfikacji oprogramowania. Stosowane w tym celu protokoły to K-Line (ISO 9141), CAN (ISO 15765) (Europa), J1850 (SAE J1850) (USA). W klasyfikacji ze względu na prędkość przesyłu danych lokują się one w klasie C i niższych.

Ostatnia bardzo różnorodna grupa protokołów sieciowych obsługuje urządzenia do przesyłu dużej ilości danych na potrzeby audio, video, nawigacji, telefonii komórkowej itp. W literaturze sieci te określa się jako infotainment lub sieci telematyczne. Wiele z nich nie wywodzi się bezpośrednio z motoryzacji. Przykładem może tu być protokół Bluetooth (IEEE 802.15.1), który w pojazdach stosuje się do łączności bezprzewodowej urządzeń głośnomówiących, ale także do komunikacji przenośnych testerów z gniazdem diagnostycznym. Pozostałe protokoły z tej grupy to np. GPRS (stosowany dla sieci GSM), oraz MOST (media oriented system transport) stworzona przez AUDI, BMW i Daimler Chrysler. Sieci Infotainment charakteryzują prędkości transmisji >10 Mbit/s przy niekrytycznych wymaganiach w stosunku do determinizmu czasowego.

### 3. Sieci CAN

Analizując przedstawiony w poprzednim punkcie przegląd protokołów sieciowych łatwo zauważyć obecność CAN (controller area network) w właściwie wszystkich opisanych grupach. Pozycje podstawowej sieci we współczesnych samochodach zawdzięcza CAN kilku cechom, które opisano poniżej. Podstawowymi dokumentami na temat CAN jest opracowana i udostępniona przez firmę Bosch specyfikacja: CAN Specification 2.0 Part A oraz CAN Specification 2.0 Part B. Szeroka akceptacja i bardzo pozytywne wyniki wdrożeń sieci opartych o ten protokół skutkuje ujęciem go w normie ISO 11898-1 będącej odpowiednikiem CAN 2.0A i CAN 2.0B.

#### 3.1. CAN High-Speed

Najistotniejszymi parametrami decydującymi o przydatności danej sieci w większości zastosowań są prędkość transmisji i determinizm czasowy. Pierwszy z tych parametrów, nieokreślony w podstawowej specyfikacji, związany jest bezpośrednio z warstwą fizyczną, której opis zawarto głównie w normach ISO 11898-2 oraz ISO 11898-3. Definiuje się tu dwa istotne zakresy prędkości: High-Speed w zakresie prędkości od 125 kbit/s do 1Mbit/s oraz Low-Speed w zakresie poniżej 125 kbit/s. Szybkość przesyłu danych z przedziału High-Speed pozwala na zastosowanie CAN w takich układach jak ABS czy wspomaganie układu kierowniczego, co znajduje odbicie w istniejących aplikacjach. Należy jednak pamiętać ze założenia (opisane w specyfikacji) dotyczące warstwy fizycznej nie wystarczają do jednoznacznego określenia rzeczywistej ilości informacji przesyłanej przez sieć. Dodatkowe czynniki mające na to bezpośredni wpływ to ilość bitów potrzebna do zakodowania wartości sygnału oraz format, w jakim informacja ta wymieniana jest między odbiornikiem i nadajnikiem.

W Tabeli 1 przedstawiono ramkę CAN w formacie rozszerzonym (extended) [9].

Ilości bitów przypisane kolejnym polom ramki (patrz Rys. 1) są jednoznacznie określone w specyfikacji. Pole danych może zawierać  $n = 1$  do 8 bajtów (1 bajt = 8 bitów). Stosunek ilości bitów pola danych odpowiedzialnych za przeniesienie rzeczywistej istotnej z punktu widzenia urządzenia informacji (tzw. transfer netto) do całkowitej ilości bitów ramki wynosi :

$$x = n \cdot 8 / (1 + 23 + 6 + n \cdot 8 + 15 + 1 + 2 + 7). \quad (1)$$

W skrajnym przypadku dla  $n = 1$  (8 bitów w polu danych)  $x$  przyjmuje wartość 0,12, co oznacza że tylko 12% czasu potrzebnego na przesłanie komunikatu wykorzystane jest by dostarczyć konkretną informację wymaganą przez komunikujące się podzespoły samochodu.

Jakkolwiek ilości bitów przypisane kolejnym polom ramki są jednoznacznie określone, to przewidziany specyfikacją sposób kodowania wymagający tzw. bitstuffing (opisanego w dalszej

części) powoduje że jej ostateczny rozmiar może być większy od założonego od kilku do kilkudziesięciu bitów. Dla przykładu przy 10 bitach stuffing wartość  $x$  zmniejsza się do 0,1. Przytoczony przykład wyjaśnia przy okazji sens stosowania identyfikatorów 11 bitowych pozwalających na obniżenie wartości  $x$ .

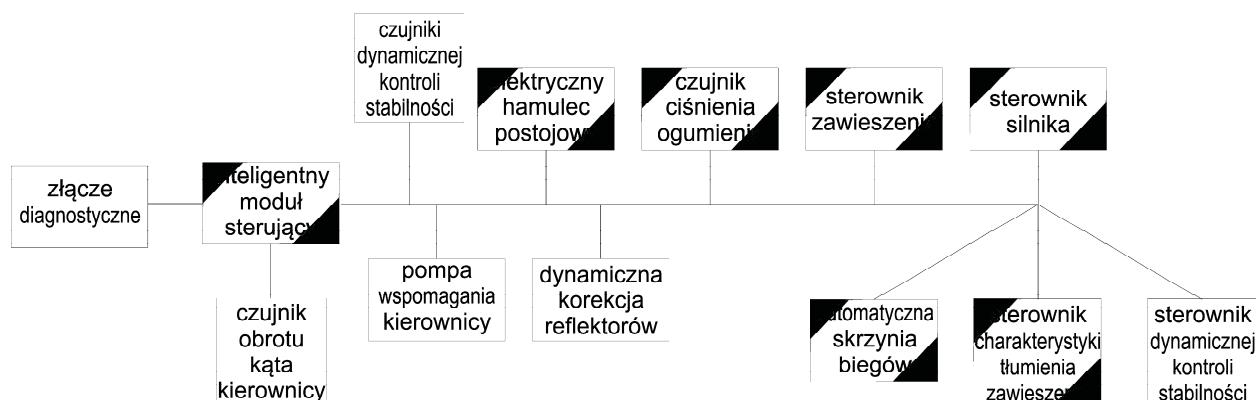
Tab. 1. Ramka CAN w formacie rozszerzonym (extended frame)  
Tab. 1. CAN extended frame

	bit startu	pole arbitrażu	pole control	pole danych	pole sumy kontrolnej	pole potwierdz. odbioru	końcówka ramki	przeźród między ramkami
Ilość bitów	1	23	6	$n*8$	15+1	2	7	

Cenną zaletą CAN w stosunku do innych sieci dla uzyskania korzystnego transferu netto jest możliwość znacznego ograniczenia lub nawet wyeliminowania komunikatów sterujących ruchem na magistrali. CAN zaprojektowano jako sieć rozgłoszeniową typu multimaster, każdy zatem z jej uczestników może nadawać informacje bez konieczności wysyłania dodatkowych porcji bitów informujących o zezwoleniu na dostęp. Ograniczony determinizm czasowy realizowany jest dzięki mechanizmowi arbitrażu oraz protokołowi dostępu do łącza ze śledzeniem stanu nośnika i unikaniem kolizji (CSMA/CA).

CAN przewiduje kilka sposobów kontroli przesyłanych danych. Najprostszy z nich sprowadza się do „nasłuchiwanie” magistrali przez nadawcę komunikatu. Zgodność stanu linii ze stanem przez niego przewidzianym oznacza brak awarii. Mechanizmem pozwalającym przekonać się czy jakkolwiek odbiorca otrzymał wiadomość jest sprawdzenie przez nadawcę stanu bitu ack (acknowledge) w polu potwierdzenia odbioru. Dowolny odbiorca „czytający” stan magistrali ustawia bit ack bieżącej ramki, jako dominujący, co dla nadawcy jest sygnałem że ramka została odebrana. Wspomniany wcześniej sposób kodowania tzw. bitstuffing nie pozwala nadawcy by kolejne 6 bitów w ramce miało ten sam stan. Taka sytuacja byłaby przez odbiorcę traktowana jako tzw. stuff error, każda zatem sekwencja 5 bitów o tym samym stanie wiąże się z koniecznością wystawienia jednego dodatkowego bitu przeciwnego.

Ostatnią metodą kontroli poprawności przesyłania danych ujętą w specyfikacji jest sprawdzenie tzw. sumy kontrolnej CRC. Poza wymienionymi sposobami wykrywania błędów uczestnik transmisji zobligowany jest do stosowania tzw. licznika wykrytych błędów. Przekroczenie krytycznej wartości licznika skutkuje wykluczeniem węzła z ruchu na magistrali (bus Off). Zabezpieczeniem przed zbyt radykalną reakcją na błędy przypadkowe jest dekrementacja licznika błędów po każdej transmisji bezbłędnej. Opisanie sposoby zapewnienia niezawodności transmisji oraz przepustowość CAN High-Speed, zdecydowały o rozpowszechnieniu tej sieci w wielu pojazdach. Na Rys. 1 przedstawiono przykład aplikacji sieci CAN w samochodzie Citroen [7].

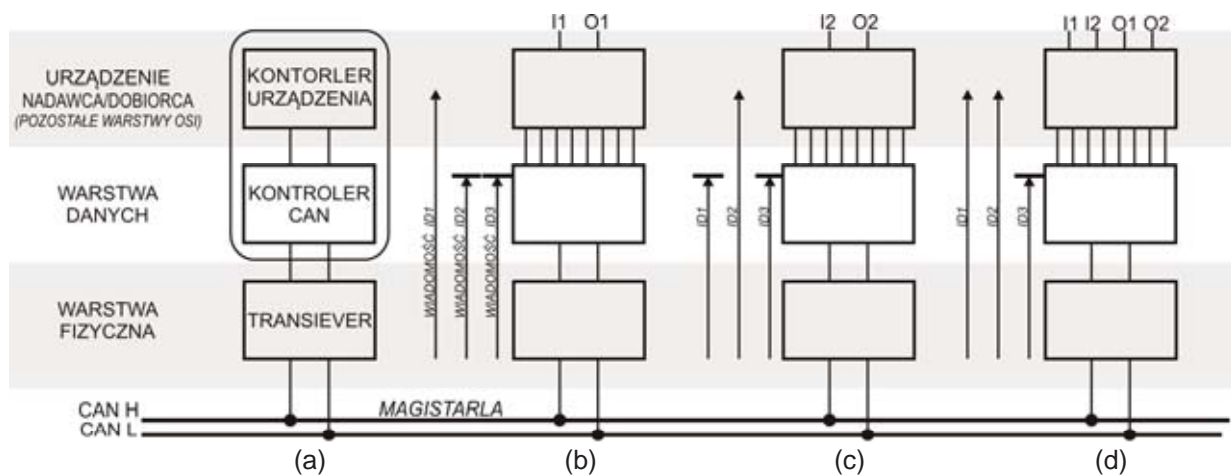


Rys. 1. Przykład sieci CAN High-Speed w samochodzie Citroen  
Fig. 1. Example of CAN High-Speed network in a Citroen brand car

### 3.2. CAN Low-Speed

Wszystkie opisane powyżej mechanizmy objęte specyfikacją 2.0 A 2.0 B stosuje się również do CAN Low-Speed. CAN Low-Speed stosuje się do sterowania urządzeniami niewymagającymi prędkości transmisji większych niż 125kbit/s. Dosłowne jednak traktowanie przyrostka Low-Speed byłoby błędem. Określenia low i high odnoszą się do odmiennej fizycznej realizacji transmisji. Rezygnując z osiągnięcia bardzo wysokiej przepustowości sieci konstruktorzy mogli pozwolić sobie na urządzenia do przesyłania sygnałów przy podwyższonej odporności na zakłócenia i ewentualne uszkodzenia przewodów transmisyjnych. W rzeczywistości nic nie stoi na przeszkodzie, by węzeł sieci pracujący wg specyfikacji CAN High-Speed pracował z prędkością np. 50kbit/s. Co więcej, producenci typowych układów do pracy wg specyfikacji high [14] dają możliwość dostosowania kształtu zbocza sygnału do panujących warunków przy pracy z obniżonymi prędkościami.

Koncepcja wyraźnego oddzielenia specyfikacji warstwy danych i warstwy fizycznej dla jednego protokołu transmisji wymaga w konsekwencji określonej realizacji sprzętowej przedstawionej na Rys. 2.



Rys. 2. Schemat komunikacji na magistrali CAN  
Fig. 2. Communication chart of CAN bus

Elementem decydującym o przynależności do high czy low speed jest urządzenie (układ scalony) opisane jako transiever.

Zastosowanie sieci CAN Low-Speed obejmuje głównie urządzenia pokładowe – wycieraczki, lusterka, fotele itp. Magistrale tego typu określane są też czasem jako CAN systemu Komfort [6]. Głównym celem stosowania sieci w takich przypadkach, w stosunku do tradycyjnych rozwiązań jest przede wszystkim redukcja ilości okablowania, a co za tym idzie zajmowanej przez nie przestrzeni. Dodatkowym czynnikiem jest fakt że poszczególne urządzenia realizują coraz więcej funkcji wymagających osobnych linii sygnałowych (sterujących). Przykładem może być sterowanie wyposażeniem elektrycznym drzwi komfortowego samochodu i problemy stawiane przed konstruktorami, by w miejscu połączenia ruchomego przeprowadzić przewody zapewniające indywidualne sterowanie każdą funkcją lusterka, czy podnośnika szyby. Przypadek sterowania zamkiem centralnym bardzo dobrze ilustruje zalety transmisji rozgłoszeniowej. Rezygnacja z identyfikowania poszczególnych odbiorców w miejsce adresowania zawartością wiadomości pozwala na redukcję ruchu w sieci. Na Rys. 2b-d pokazano właściwy sieci CAN sposób przekazywania informacji wybranym odbiorcom, sprowadzający się do filtrowania ramek pojawiających się na magistrali. Dla przytoczonego przykładu sterowania blokadą drzwi wystarczy jeden komunikat nieadresowany do żadnego konkretnego węzła – by wszystkie „zainteresowane” wiadomością odbiorniki (sterowniki drzwi) wykonały swoje zadanie (uruchomiły siłownik blokady zamka).

### 3.3. Integracja podsieci

Wymiana danych przez nowoczesne sieci pokładowe umożliwia stworzenie systemu o teoretycznie nieograniczonej zdolności integracji elementów o skrajnie odmiennych cechach funkcjonalnych i zasadach działania. Pozwala to na znaczne rozszerzenie zakresu optymalizacji pracy układu, jako jednolitego obiektu. Z drugiej strony, zastosowanie sieci pozwala na rozdzielanie zadań realizowanych przez poszczególne podzespoły w celu uniknięcia nadmiernego skomplikowania systemu prowadzącego do ograniczenia czy utrudnienia nad nim kontroli. Taka sytuacja wiąże się z wydzieleniem grup podzespołów i obecnością w jednym pojeździe kilku sieci o różnych prędkościach transmisji, parametrach fizycznych sygnałów, a często także rodzajach medium transmisyjnego. Ze względu na swą elastyczność, w większości przypadków CAN pełni rolę sieci integrującej wszystkie pozostałe. Łączność pomiędzy poszczególnymi podsieciami realizowana jest przez tzw. bramy (gateway). Ilość i rozmieszczenie bram zależy od modelu samochodu. W najprostszych przypadkach występuje jedna brama posiadająca dodatkowy interfejs połączony ze złączem diagnostycznym. Wysoka specjalizacja określonych sieci np. MOST (w zastosowaniach infotainment) powoduje, że producenci wyposażają obsługiwane przez nie urządzenia w dodatkowe magistrale przejmujące sterowanie prostymi funkcjami typu obsługa zmieniar CD, czy łączność z panelem operatorskim. W wielu pojazdach role takiej dodatkowej sieci może również spełniać CAN.

### 3.4. CAN w diagnostyce oraz reprogramowaniu i parametryzacji sterowników

Jak zaznaczono w poprzednim punkcie, zadaniem bramy (gateway) jest łączenie sieci o odmiennych parametrach sygnałów warstwy fizycznej. Co jednak istotniejsze, brama posiada dostęp do wszystkich informacji przechodzących przez kojarzone magistrale. Taka sytuacja daje doskonałą możliwość monitorowania stanu wszystkich połączonych urządzeń i modyfikacji zawartości ich pamięci flash.

Tradycyjnym sposobem komunikacji głównie na potrzeby diagnostyki przez długi okres pozostawały standardy K-Line (10,4 kbit/s) i SAE j1850 (41,6 kbit/s) działające w układzie point to point. Pojawienie się i ugruntowanie pozycji systemu OBD przy wzrastającej liczbie dostępnych parametrów spowodowało stopniowe wyparcie tych protokołów przez sieci CAN. W pojazdach produkowanych od roku 2008 CAN jest jedynym dopuszczalnym interfejsem diagnostycznym do kontroli spalin (OBD) [3].

Szybkości transmisji rzędu 250/500 kbit/s, na które pozwala zastosowanie CAN w złączu diagnostycznym (ISO 15765-4), umożliwia wykorzystanie go do modyfikacji zawartości pamięci flash obecnych w sieci sterowników. Ingerencja w ich zasoby softwarowe ma dwojaki charakter. Podstawowym celem jest na ogół korekta poszczególnych parametrów mających wpływ na zmianę charakterystyk silnika. Nie do przecenienia jednak, jest również możliwość wymiany całego programu nawet w warunkach warsztatu serwisowego.

## 4. Podsumowanie

Bardzo silna pozycja magistrali CAN w technice motoryzacyjnej jest chyba najlepszym dowodem na skuteczność realizacji postawionych przed nią zadań. Co więcej, krótki czas, jaki dzieli wdrożenie jej w pierwszych aplikacjach do powszechnego stosowania, potwierdza słuszność obranego przez projektantów firmy Bosch kierunku prac nad rozwojem sieci. Niewątpliwie również do sukcesu CAN w motoryzacji przyczyniła się jej ekspansja w innych gałęziach techniki.

Obserwując nowe trendy w rozwoju samochodów trudno nie postawić sobie pytania o dalsze perspektywy tego standardu. Głównym obecnie celem konstruktorów jest obniżenie toksyczności spalin i zużycia paliwa projektowanych samochodów. Próbą sprostania takiemu wyzwaniu są wielokierunkowe prace nad rozwiązaniami obniżającymi masę pojazdu, precyzyjniejszymi sposobami sterowania procesami zachodzącymi w silniku, czy wykorzystaniem alternatywnych

źródeł energii. Pojawiające się koncepcje typu „X - by wire” czy rzeczywiste już pojazdy hybrydowe, niewątpliwie podwyższą poprzeczkę stawianą przed koniecznymi do ich realizacji protokołami sieciowymi. Główne ograniczenia w dalszych zastosowaniach CAN to niepełny determinizm czasowy i limitowana (głównie warstwą fizyczną) do 1 Mbit/s prędkość transmisji. Próba zbliżenia się do działania CAN w trybie real time jest wprowadzenie protokołu TTCAN – time triggered CAN. Odpowiedzią producentów układów scalonych jest obecność dedykowanych do tego celu rejestrów w mikrokontrolerach zawierających interfejs CAN [13]. Silną konkurencją dla CAN wydaje się być zastosowany już np. w BMW X7 protokół Flex Ray z deklarowaną prędkością transmisji deterministycznej czasowo na poziomie 10 Mbit/s. Najbardziej prawdopodobny w najbliższych latach wariant to współlistnienie kilku sieci równolegle. Potwierdzeniem tego mogą być prowadzone przez organizację AUTOSAR (zrzeszającą liderów przemysłu samochodowego) prace mające na celu przyjęcie standardów oprogramowania sterowników, które uwzględniają gotowe interfejsy softwarowe dla sieci CAN, LIN i FlexRay.

## Literatura

- [1] Valentine, R., *Motor control electronics handbook*, McGraw-Hill, New York 1998.
- [2] Merkisz J., Mazurek, S., *Pokładowe systemy diagnostyczne pojazdów samochodowych*, WKŁ, Warszawa 2002.
- [3] Zimmermann, W. Schmitgall, R., *Magistrale danych w pojazdach*, WKŁ, Warszawa 2008.
- [4] *Sieci wymiany danych w pojazdach samochodowych*, BOSCH Informator Techniczny, 2008.
- [5] *Wymiana danych w magistrali CAN II*, Z. 269, Audi.
- [6] *Wymiana danych w magistrali CAN*, Materiały serwisowe, Audi.
- [7] *Architektura multipleksowana*, Materiały serwisowe, Citroen.
- [8] *Samochodowe sieci informatyczne*, Poradnik serwisowy, Nr 5, Instalator Polski, 2005.
- [9] *CAN Specification Version 2.0*, Robert Bosch GmbH, Stuttgart 1991.
- [10] *Byteflight Specification BMW AG EE-211*, <http://www.byteflight.com>.
- [11] *FlexRay Communications System Protocol Specification*, Version 2.1, Revision A.
- [12] *MOST Specification*, Rev 3.0 05/2008
- [13] *MPC5553/MPC5554 Microcontroller Freescale Reference Manual*, Rev. 3.1 10/2005.
- [14] *Data sheet pca82c250*, Philips, 1997.