

# Komunikacja w sieciach informatycznych pojazdów samochodowych na przykładzie protokołu CAN

Piotr Niklas

Przedstawiono główne standardy sieci komunikacyjnych stosowane w pojazdach samochodowych. Scharakteryzowano 3 klasy A, B i C multipleksowanych sieci komunikacyjnych zgodnie z SAE (Society of Automotive Engineers). Przedstawiono cechy charakterystyczne protokołu CAN (Controller Area Network) z uwzględnieniem aspektów bezpieczeństwa przesyłanych informacji.

Współczesne pojazdy samochodowe są wyposażone w liczne sensory i urządzenia elektroniczne, pomiędzy którymi istnieje konieczność zapewnienia wymiany informacji. Wprowadzona od 2000 r. norma OBDII (On-Board Diagnostic II) narzuca stosowanie pokładowych systemów monitorujących.

W artykule zestawiono 4 główne protokoły komunikacji stosowane w samochodach. Omówiono klasyfikację komunikacji na klasy A, B i C wg SAE. Cechy charakterystyczne protokołów omówiono na przykładzie protokołu CAN, którego opis ograniczono do cech charakterystycznych bez wnikania w mechanizmy zapewniające ich realizację.

## Standardy sieci komunikacyjnych w pojazdach samochodowych

Głównymi standardami sieci komunikacyjnych do zastosowań w pojazdach samochodowych są [1]:

- komunikacja CAN (Controller Area Network),
- komunikacja Keyword Protocol 2000,
- komunikacja klasy B wg SAE,
- komunikacja klasy B wg ISO.

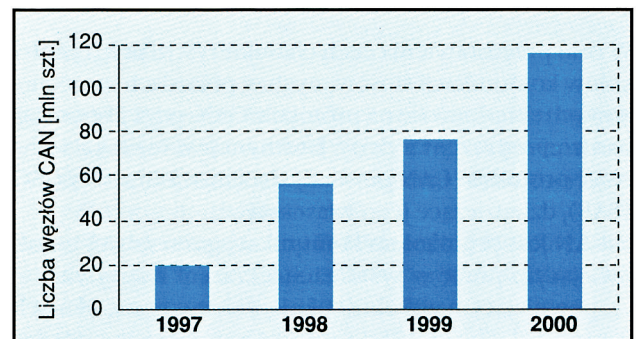
Protokół CAN opracowała firma Bosch. W zamyśle projektantów sieć ta miała łączyć moduły sterujące, sensory i inne elementy w pojeździe samochodowym. Na skalę przemysłową sieć CAN została pierwszy raz zastosowana w 1990 r. w samochodach marki Mercedes. Rozwiązanie okazało się być bardzo trafne, dlatego też znalazło zastosowanie w innych obiektach (statki, windy, podnośniki, maszyny rolnicze, duże teleskopy optyczne, pociągi).

Liczba implementacji CAN rośnie w szybkim tempie [1]. Zobrazowano to na rys. 1.

Na podstawie powyższych danych można prognozować dalszy wzrost implementacji CAN.

Na bazie protokołu CAN na potrzeby przemysłu samochodowego powstały standardy opracowane przez ISO oraz przez SAE. Protokół CAN jest zgodny z międzynarodowym standardem Open System Interconnect (OSI) opracowanym przez ISO.

*Mgr inż. Piotr Niklas jest studentem Studium Doktoranckiego przy Wydziale Elektrotechniki i Automatyki Politechniki Gdańskiej.*



Rys. 1. Liczba węzłów CAN

## Klasy sieci komunikacyjnych

Organizacja SAE wyróżnia trzy klasy: A, B i C multipleksowanych sieci komunikacyjnych przeznaczonych do zastosowań w pojazdach samochodowych [2]. Każda z klas korzysta z szeregowej komunikacji.

**Klasa A.** Przeznaczona do transmisji z małymi szybkościami od 1 kbit/s do 10 kbit/s. Odpowiednia do obsługi np. interfejsów i innych niezwiązanych z bezpieczeństwem systemów, które nie wymagają szybkiej obsługi.

**Klasa B.** Szybkość transmisji od 10 kbit/s do 125 kbit/s z wbudowaną kontrolą poprawności przesyłania i detekcją błędów. Systemy klasy B są stosowane w systemach diagnostycznych do kontroli np. pracy silnika.

**Klasa C.** Szybka transmisja od 125 kbit/s do ponad 1 Mbit/s, umożliwia zastosowanie w systemach pracujących w czasie rzeczywistym. Przykładowe zastosowanie: kontrola trakcji, zapobieganie blokowaniu kół podczas hamowania (ABS). Klasa C ma rozbudowane funkcje kontroli i detekcji błędów.

Większość sieci informatycznych stosowanych w pojazdach samochodowych należy do klasy B.

## Charakterystyka komunikacji klasy B

Komunikacja klasy B jest używana głównie do celów diagnostycznych – typowo do przesyłania informacji pomiędzy systemem kontroli silnika i systemem kontroli trakcji. Umożliwia ona eliminację dublujących się



sensorów i systemów. Wszystkie funkcje klasy A są objęte przez klasę B. W stosunku do klasy A, klasa B ma rozbudowane mechanizmy detekcji i kontroli błędów. Moduły połączone w sieć klasy B, w tradycyjnie okablowanym pojeździe występują jako odseparowane urządzenia, każde z indywidualnymi przewodami.

Powstały dwa standardy dotyczące komunikacji klasy B – stosowana w Europie norma ISO 9141-2 i standard stosowany w USA, opisany w dokumencie SAE J1850. Oba wymienione standardy są do siebie podobne. Ogólne zasady transmisji są takie same, a różnice tkwią w sposobie definiowania i zakresie ujmowanego problemu.

## Charakterystyka protokołu CAN

W celu przedstawienia cech charakterystycznych protokołów komunikacji stosowanych w pojazdach samochodowych skupiono się na protokole CAN, gdyż jest on najbardziej reprezentatywny. Istotnym jest też fakt, że na bazie protokołu CAN powstały dwa inne standardy (ISO i SAE), dziedziczące jego właściwości.

CAN jest protokołem komunikacji szeregowej umożliwiającym pracę w systemach z czasem rzeczywistym i zapewniającym wysokie bezpieczeństwo przesyłanych danych [3]. Sieci CAN umożliwiają transmisję informacji z szybkością do 1 Mbit/s.

Specyfikacja CAN definiuje warstwę transmisji danych i warstwę fizyczną zgodnie z modelem ISO/OSI. Warstwa transmisji danych zawiera podwarstwę kontroli transmisji LLC (Logical Link Control) i podwarstwę kontroli dostępu do medium MAC (Medium Access Control). LLC obejmuje:

- zapewnienie obsługi transferu danych i zdalnych zapytań,
- decydowanie, które wiadomości odebrane przez podwarstwę LLC mają zostać zaakceptowane,
- zarządzanie odzyskiwaniem danych i informowanie o przeciążeniach.

MAC obejmuje: protokół transmisji np. kontrolę ramek, arbitraż, kontrolę błędów, sygnalizację błędów. Do MAC należy decydowanie, czy magistrala jest wolna do rozpoczęcia nowej transmisji lub czy transmisja się właśnie zaczyna. Mogą jej również podlegać zależności czasowe.

Warstwa fizyczna zapewnia transfer bitów między różnymi węzłami zgodnie z elektrycznymi wymaganiami. W obrębie tej samej sieci, warstwa fizyczna powinna być taka sama dla wszystkich węzłów. Istnieje duża swoboda w wyborze warstwy fizycznej. Specyfikacja CAN 2.0 definiuje podwarstwę MAC i w małym zakresie podwarstwę LLC.

## Podstawowe koncepcje CAN

Cechy charakterystyczne protokołu CAN [3]:

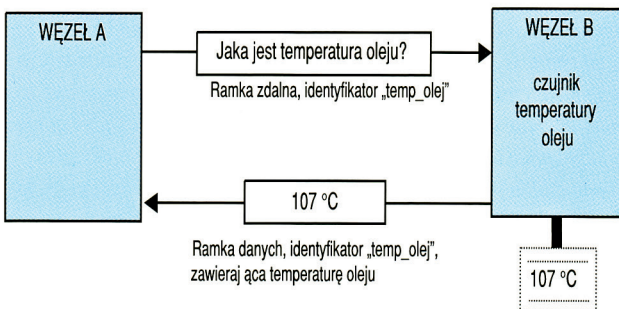
- różny priorytet wiadomości,
- gwarantowane opóźnienia czasowe,
- elastyczność,
- wielodostępność z synchronizacją czasu,
- zgodność danych,

- multimaster,
- detekcja i sygnalizacja błędów,
- automatyczna transmisja uszkodzonych wiadomości, zaraz po zwolnieniu magistrali,
- rozróżnialność uszkodzeń tymczasowych od trwałych i automatyczne odcinanie węzłów trwale uszkodzonych.

Wiadomości przesyłane magistralą CAN mają ustalony format oraz różną, ale ograniczoną długość. Gdy magistrala jest wolna, jakiegokolwiek podłączone do niej urządzenie może zacząć transmisję nowej wiadomości. W systemie CAN żaden z węzłów nie korzysta z jakiegokolwiek informacji o konfiguracji systemu. Konsekwencją jest elastyczność systemu, polegająca na tym, że węzły mogą być dodawane do sieci CAN bez dokonywania zmian w oprogramowaniu lub urządzeniach, w węzłach lub warstwie aplikacji. Zawartość wiadomości jest określana przez identyfikator, który nie oznacza miejsca docelowego wiadomości, ale opisuje znaczenie danych. Na podstawie identyfikatora, każdy z węzłów w sieci sam decyduje, poprzez filtrację wiadomości, czy dane są przeznaczone dla niego. Wielodostępność jest konsekwencją filtracji wiadomości przesyłanych przez sieć. Pewna liczba węzłów może odbierać tę samą wiadomość i jednocześnie rozpocząć określone akcje.

Zgodność danych oznacza, że jest gwarantowane jednoczesne odebranie wiadomości przez wszystkie węzły lub przez żaden z nich. Zgodność danych jest osiągnięta poprzez koncepcję wielodostępności i kontroli błędów. Szybkość transmisji może być różna w różnych systemach CAN. W danym systemie prędkość jest określona i stała. Priorytet wiadomości jest określony na podstawie identyfikatora wiadomości, definiującego stały priorytet wiadomości.

Interesująca jest koncepcja zdalnego zapytania (rys. 2). Węzeł oczekujący na dane, przez wysłanie ramki zdalnej zapytuje inny węzeł do wysłania potrzebnych mu informacji w ramce danych. Zdalna ramka i odpowiadająca jej ramka danych mają ten sam identyfikator.



Rys. 2. Zapytanie zdalne

Sieć CAN ma właściwość multimastera, tzn. gdy magistrala jest wolna, każde urządzenie może zacząć transmisję ramki. Wiadomość o wyższym priorytecie uzyskuje dostęp do magistrali jako pierwsza. Proces arbitrażu jest wymagany, gdy co najmniej dwa węzły zaczynają transmisję jednocześnie. Konflikt o dostęp do magistrali jest rozwiązywany przez arbitraż, przy użyciu identyfikatorów. Proces arbitrażu gwarantuje bezstratność danych. Jeżeli ramka danych i ramka zdal-



na o tym samym identyfikatorze są wysyłane jednocześnie, to ramka danych ma pierwszeństwo. Podczas arbitrażu, każdy nadajnik porównuje bity wysyłane z bitami monitorowanymi na magistrali. Jeżeli bity są takie same, to węzeł kontynuuje nadawanie. Gdy wysłano bit ustępujący, a na magistrali monitorowany jest bit dominujący, węzeł przegrał arbitraż i nie może wysłać kolejnego bitu.

## Bezpieczeństwo

W celu zapewnienia wysokiego poziomu bezpieczeństwa przesyłanych danych, każdy węzeł CAN wyposażony jest w narzędzia do detekcji i sygnalizacji błędów oraz ma wbudowane mechanizmy samokontroli [3]. Detekcja błędów jest realizowana następującymi czynnościami:

- monitorowanie (nadajniki porównują poziom bitów wysyłanych z monitorowanymi poziomami na magistrali),
- cykliczna kontrola nadmiarowości,
- wypełnianie bitów,
- sprawdzanie ramek wiadomości.

Mechanizm detekcji błędów zapewnia:

- wykrywanie wszystkich globalnych błędów,
- wykrywanie wszystkich lokalnych błędów nadajnika,
- wykrywanie więcej niż 5 losowych błędów w wiadomości,
- wykrywanie mniej niż 15 błędów długości w wiadomości,
- wykrywanie innych nadzwyczajnych błędów w wiadomości.

Prawdopodobieństwo niewykrycia pozostałych błędów wiadomości jest mniejsze niż [3]:

$$\text{szybkość przesyłania} * 4,7 \times 10^{-11}$$

Węzły CAN rozróżniają uszkodzenia krótkotrwałe od trwałych. Węzły trwale uszkodzone są odcinane, aby niepotrzebnie nie zakłócały transmisji na magistrali.

Opisany wyżej mechanizm obsługi błędów, zapewnia wysokie bezpieczeństwo przesyłanych danych. W praktyce oznacza to, że w samochodzie wyposażonym w magistralę CAN, przy systemie pracującym z 25-procentowym obciążeniem magistrali przez 2000 h/rok, przy szybkości przesyłania 500 kbit/s, zostanie niewykryty 1 błąd na 1000 lat.

## Podsumowanie

Sieci informatyczne w pojazdach samochodowych mają następujące właściwości:

- umożliwiają dołączanie i odłączanie węzłów do sieci bez jakichkolwiek czynności konfiguracyjnych, co czyni sieć elastyczną,
- stosowane jest adresowanie funkcjonalne,
- proces arbitrażu jest oparty na definicji stanów logicznych (sygnał dominujący wygrywa zawsze z sygnałem ustępującym) i zapewnia bezstratność przesyłanych informacji,

- zagwarantowane są opóźnienia czasowe,
- zagwarantowana jest zgodność odbieranych informacji przez wszystkie węzły,
- rozbudowany mechanizm wykrywania błędów zabezpiecza przed odbiorem przekłamanej wiadomości.

Wprowadzenie sieci informatycznych umożliwia sterowanie pracą silnika, systemu napędu, systemu hamulcowego i innych. Sieć komunikacyjna umożliwia współpracę rozmaitych systemów, co prowadzi do zmniejszenia emisji zanieczyszczeń, czy do poprawy bezpieczeństwa pasażerów. Wprowadzanie rygorystycznych norm ochrony środowiska naturalnego, jak też wyposażanie pojazdów w wiele sensorów, urządzeń elektronicznych, mikrokomputerów czyni użycie sieci informatycznych w samochodach niezbędnym.

## Bibliografia

1. Niklas P.: Protokoły komunikacji w sieciach informatycznych pojazdów samochodowych. Praca dyplomowa na Wydziale Elektroniki, Telekomunikacji i Informatyki PG – promotor dr inż. Mazurek S.
2. The Engineering Society For Advancing Mobility Land Sea Air and Space: Class B Data Communications Network Interface, SAE J1850, Nov. 96.
3. Robert Bosch GmbH, Controller Area Network Specification, Version 2.0, Sep. 1991.

## Streszczenia artykułów naukowych

**Komunikacja w sieciach informatycznych pojazdów samochodowych na przykładzie protokołu CAN**, Piotr Niklas — s. 51

Przedstawiono główne standardy sieci komunikacyjnych stosowane w pojazdach samochodowych. Scharakteryzowano 3 klasy A, B i C multipleksowanych sieci komunikacyjnych zgodnie z SAE (Society of Automotive Engineers). Przedstawiono cechy charakterystyczne protokołu CAN (Controller Area Network) z uwzględnieniem aspektów bezpieczeństwa przesyłanych informacji.

**Communication in automotive vehicles information networks. The CAN protocol case**, Piotr Niklas — p. 51

Main standards of communication networks using in automotive vehicles applications are presented. The A, B and C classes of multiplexed communication networks are described, due to the Society of Automotive Engineers specification. The features of the CAN protocol are shown, taking into account the information safety.