

Zmodyfikowany protokół Ethernet w systemach samochodowych

Streszczenie. W artykule przedstawiono modyfikacje klasycznego protokołu Ethernet w celu dostosowania go do wymagań stawianych przez systemy transmisyjne w przemyśle samochodowym. Omówiono wykorzystanie protokołu w diagnostyce „on-board” i systemach multimedialnych. Omówiono również perspektywiczne, ale wymagające największych modyfikacji sprzętowo-protokołowych, możliwości wykorzystania Ethernetu do tworzenia sieci szkieletowych, łączących komputery pokładowe z systemami zewnętrznymi w ramach ogólnej struktury Internetu.

Abstract. In the paper modifications introduced into standard Ethernet protocol to suit it for automotive industry requirements are presented. Issues related to possible use of Ethernet for on-board diagnostics and multimedia systems are discussed in detail. Future and most prospective possible implementations for creating backbone networks linking onboard modules with external nodes within entire Internet, requiring significant modifications both in hardware as well as protocols are also presented. (**Modified Ethernet protocol for automotive systems**).

Słowa kluczowe: Ethernet przemysłowy, systemy transmisji danych, systemy czasu rzeczywistego.

Keywords: Industrial Ethernet, data transmission systems, real time systems

Wprowadzenie

Współczesne pojazdy samochodowe wyposażone są w coraz większą liczbę układów i systemów elektronicznych. Układy sensoryczne, systemy bezpieczeństwa, układy komfortu czy też multimedialne systemy pokładowe, w czasie rzeczywistym dostarczają informacji do rozproszonych w całym pojeździe sterowników komputerowych (ECU – ang. *Electronics Control Unit*). W celu zapewnienia poprawnej komunikacji pomiędzy układami sensorowymi i komputerami pokładowymi oraz współpracy rozproszonych jednostek ECU, których liczba w samochodach najnowszej generacji dochodzi nierzadko nawet do kilkudziesięciu, niezbędne jest wykorzystanie bezpiecznego i szybkiego interfejsu transmisyjnego. Stosowane obecnie w przemyśle samochodowym protokoły transmisyjne takie jak CAN, LIN, FlexRay itp. nie spełniają wszystkich oczekiwań użytkowników, przede wszystkim z powodu słabego wsparcia dla szybkiej transmisji dużej ilości danych w czasie rzeczywistym [1][2].

Zweryfikowany w systemach automatyki przemysłowej, zmodyfikowany dla potrzeb pracy w czasie rzeczywistym protokół Ethernet (a właściwie stos protokołów Ethernet-TCP/IP) stanowi atrakcyjną propozycję, możliwą do zastosowania w systemach samochodowych [3]. Prace nad wykorzystaniem Ethernetu w systemach tego typu trwają już od kilkunastu lat. Obecnie dopracowane i wykorzystywane są już systemy dwójakiego rodzaju, bazujące na protokole IEEE802.3:

- systemy diagnostyczne,
- systemy multimedialne (audio i video).

Za perspektywiczną uznaje się również możliwość wykorzystania sieci Ethernet jak sieci szkieletowej, łączącej wszystkie sterowniki komputerowe pojazdu w jedną, wspólną strukturę chmury intranetowej umożliwiającej wymianę danych zarówno pomiędzy sterownikami jak również z systemami zewnętrznymi, poprzez ogólnie dostępną sieć internetową [4].

Podstawowym problemem przy wykorzystaniu protokołu Ethernet w systemach komunikacyjnych tego typu jest brak bezpośredniej możliwości realizacji transmisji ze zdefiniowanym reżimem czasowym. Protokół Ethernet z natury jest protokołem rywalizacyjnym, bezpriorytetowym, nieumożliwiającym realizacji transmisji synchronicznych. Jednakże, dzięki osiąganym prędkościom transmisji, bardzo precyzyjnie zdefiniowanym zasadom dostępu do medium transmisyjnego czy też efektywnym mechanizmom

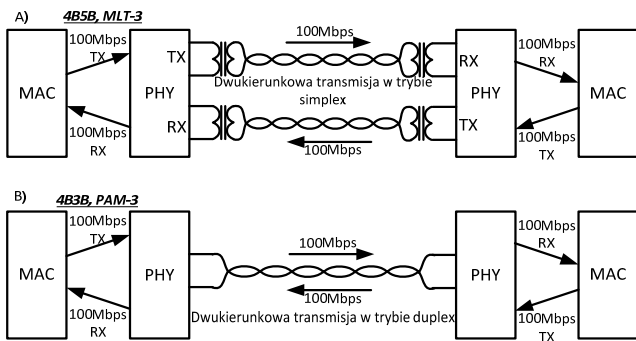
wykrywania kolizji, stanowiąc on może bazę do opracowania zmodyfikowanego protokołu transmisyjnego, dostosowanego do wymogów stawianych przez systemy samochodowe.

W artykule przedstawiono opis modyfikacji wprowadzonych do klasycznego standardu IEEE802.3, pozwalających na uzyskanie synchronizacji czasowej transmitowanych informacji, strumieniowanie transmisji czy też wsparcie dla kolejkowania i priorytetyzacji transmisji danych synchronicznych.

Implementacja warstwy fizycznej protokołu (PHY)

Poza problemem związanym z realizacją transmisji danych w czasie rzeczywistym, wykorzystanie protokołu Ethernet w systemach samochodowych uniemożliwiało brak dostosowania właściwości warstwy fizycznej standardu do wymogów stawianych elektronicznie samochodowej. Najpopularniejsza obecnie implementacja warstwy fizycznej Ethernetu 100BASE-TX wykorzystuje jako medium transmisyjne dwie (cztery w przypadku 1000BASE-TX, czyli pracy z prędkością 1Gbps) pary skrętki (ang. Twisted Pair) kategorii 5 (CAT-5). W przypadku transmisji z prędkością 100Mbps stosuje się transmisję simpleksową po dedykowanych do odbioru (RX) i nadawania (TX) parach skrętki, przy wykorzystaniu kodowania 4B5B oraz modulację kanałową MLT-3, redukującą pasmo sygnału transmitowanego w linii. Wykorzystanie tego typu warstwy fizycznej w samochodach niemożliwe było z dwóch powodów:

- wykorzystanie dwóch par skrętki rozbudowałoby system okablowania pojazdu, zwiększając znacząco jego koszt oraz masę pojazdu,
 - stosowane mechanizmy kodowania nie gwarantują spełnienia wymogów kompatybilności elektromagnetycznej EMC (ang. Electromagnetic Compability) stawianych przed urządzeniami elektronicznej samochodowej (tor transmisyjny w 100BASE-TX generuje zakłócenia w paśmie do 65-80MHz)
- Rozwiązanie problemu opracowała firma Broadcom, która zaproponowała nową implementację warstwy fizycznej dla zastosowań Automotive Ethernet, pozwalającą na realizację transmisji po jednej parze skrętki (Rys. 1). Rozwiązanie nosi nazwę BroadR-Reach® i jest zastrzeżone przez firmę, która udostępniła jednakże jego część do powszechnego wykorzystania w trybie Open Alliance [5][6].



Rys. 1. Porównanie warstwy fizycznej dla klasycznego Ethernetu 100BASE-TX (A) i zastosowań Automotive (B)

Zaproponowane rozwiązanie zakłada zmodyfikowanie wyłącznie warstwy fizycznej sieci, wykorzystując jako interfejs wejściowy MII (ang. Media Independent Interface), co umożliwia implementację układową z użyciem ogólnodostępnych kontrolerów ethernetowych.

Zmienione zostały zasady kodowania i mechanizm realizacji transmisji. Dane z interfejsu MII kodowane są za pomocą koda 4B3B, który czterobitowe sekwencje nadawane z częstotliwością 25MHz zamienia na trzybitowe symbole transmitowane z częstotliwością 33,3MHz. Symbole te kodowane są następnie z wykorzystaniem modulacji PAM-3 i transmitowane w trybie duplexowym po jednej parze skrętki, przy wykorzystaniu mechanizmu kasowania echa (ang. Echo Cancellation).

Tak zmodyfikowane mechanizmy kodowania pozwalają na realizację transmisji w paśmie do 27MHz, co z kolei spełnia wymogi EMC dla przemysłu samochodowego. Ponadto mechanizm kodowania jest bardzo efektywny, co pozwala na uzyskanie zwiększonego zasięgu transmisji. Transmisje z prędkością 10Mbps realizowane mogą być na odległość do 900m, a z prędkością 100Mbps do 300m (przy wykorzystaniu skrętki CAT-5). Co więcej, możliwa jest realizacja transmisji z prędkością 1Gbps na odległość do 15m.

Systemy diagnostyki pokładowej

Pierwsze zastosowania protokołu Ethernet w systemach samochodowych wynikały bezpośrednio z coraz większego "skomputeryzowania" pojazdu oraz dynamicznego rozwoju systemów elektroniki pokładowej. W samochodach pojawia się coraz większa liczba systemów elektronicznych, najczęściej tworzących niezależnie sterowane (za pomocą dedykowanego ECU) struktury, połączone nawzajem systemem komunikacyjnym. Standardowo każdy pojazd samochodowy już od kilku lat wyposażony musi być w system OBD (ang. On Board Diagnostic), gwarantujący wymianę komunikatów pomiędzy układami sterowników pokładowych a elementami sensorycznymi. System OBD, pierwotnie ukierunkowany na analizę danych w systemach mogących mieć wpływ na środowisko naturalne, z biegiem czasu rozszerzał swoją funkcjonalność stając się najpopularniejszym narzędziem w dziedzinie automatycznej diagnostyki samochodowej oraz detekcji błędów w systemach pokładowych. Teoretycznie do celów tak rozumianej funkcjonalności nie wydaje się konieczne wykorzystywanie innych protokołów wymiany danych niż standardowe takie jak CAN, ISO9141-2 czy J1850. Jednak w nowoczesnych samochodach system OBD spełnia dodatkowe zadanie. Wykorzystywany jest również w celach uaktualnienia oprogramowania systemowego zainstalowanych w pojeździe sterowników ECU. Problem realizacji transmisji dużej ilości danych (czasami nawet rzędu kilkudziesięciu MB dla każdego sterownika) wymusił na projektantach konieczność poszukiwania szybszych od klasycznych protokołów komunikacyjnych. Zweryfikowany w

sieciach komputerowych protokół Ethernet okazał się być idealnym rozwiązaniem, ze względu na naturalny poziom bezpieczeństwa transmisji jak i prostotę wdrożenia. Już od kilku lat producenci samochodów wykorzystują protokół Ethernet w systemach ODB. Zasady realizacji systemów opisuje standard ISO13400 (dodatkowo ISO14229 opisuje komunikaty wykorzystywane przez ISO13400), który wykorzystywany jest zarówno do odczytu danych serwisowych z komputerów pokładowych jak również aktualizacji oprogramowania układów ECU. Protokół transmisyjny bazuje na TCP/IP, natomiast w warstwie fizycznej wykorzystywane jest standardowe (klasyczne) okablowanie Ethernet (dwie pary skrętki).

Komunikacja w systemach multimedialnych – protokół IEEE Audio Video Bridging

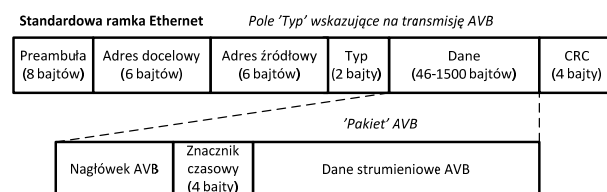
Transmisje dużych ilości danych synchronicznych w systemach samochodowych utożsamiane są najczęściej z systemami audiowizualnymi. System odtwarzania dźwięku (radio, odtwarzacz CD, MP3, itp.) wraz z elementami nagłośnienia oraz w nowszych modelach samochodów systemy telewizyjne (TV, video) należą dziś do najpopularniejszych ale nie jedynych układów tej kategorii. Nowoczesne samochody posiadają ponadto bardzo rozbudowane systemy analizy otoczenia pojazdu, bazujące zarówno na kamerach wideo (ang. ADAS – Advanced Driver Assistance System) jak i radarach biskiego i dalekiego zasięgu. Cechą charakterystyczną tych systemów jest duża ilość danych o charakterze strumieniowym (dane synchroniczne), które dostarczane muszą być z jak najmniejszym opóźnieniem do systemu centralnego (analizującego i przetwarzającego dane), który z kolei połączony musi być niezawodnym łączem z bardzo różnorodnymi systemami sterowania i kontroli.

Ze względu na masowy i synchroniczny charakter transmisji, praktycznie żaden z wykorzystywanych współcześnie dedykowanych dla przemysłu transportowego, protokołów transmisyjnych nie może sprostać wymaganiom tych systemów (za wyjątek można byłoby uznać transmisję w standardzie MOST – ang. Media Oriented System Transport). Z tego powodu za naturalne uznano wykorzystanie dla potrzeb realizacji transmisji strumieniowych protokołu Ethernet wspieranego przez stos TCP/IP.

Zdefiniowano standard IEEE Audio Video Bridging (AVB) gwarantujący uzyskanie wymaganego poziomu QoS (ang. Quality of Services) dla masowych transmisji realizowanych w czasie rzeczywistym [7][8][9]. Standard wykorzystuje trzy specyfikacje:

- IEEE802.1as – opisujący zasady realizacji synchronizacji czasowej w systemie,
- IEEE802.1Qat – definiujący zasadę realizacji transmisji strumieniowych,
- IEEE802.1Qav – opisujący zasady kolejowania i przekazu danych

Zaletą tego rozwiązania jest niewątpliwie wykorzystywanie na potrzeby transmisji standardowych ramek Ethernet, w których w polu danych przenoszone są pakiety AVB (IEEE1722 – AVB Packets) - Rys. 2.



Rys. 2. Enkapsulacja pakietu AVB w ramce Ethernet

Proces synchronizacji bazuje na wykorzystywanym w systemach internetowym standardzie IEEE1588 (PTP - ang. Precise Time Protocol). W przypadku systemów AVB elementy systemu pracują ze wspólnym zegarem o częstotliwości 8kHz. Ponieważ w systemie mogą koegzystować różne źródła sygnału zegarowego, przed przystąpieniem do transmisji urządzenia selekcjonują wspólne źródło sygnału zegarowego (w tym celu wykorzystywany jest algorytm „Best Master Clock” znany np. z Ethernetu przemysłowego). Dystrybucja sygnału zegarowego realizowana jest w oparciu o protokół PTP [10].

Proces synchronizacji podzielono na dwa etapy:

- wyznaczenie „offsetu” zegara pomiędzy urządzeniami Master i Slave (na bazie wysyłanych ze stałym odstępem czasowym pakietów informacyjnych),
- wyznaczenie opóźnienia pomiędzy urządzeniami (na podstawie znaczników czasowych wysyłanych przez oba urządzenia w pakietach kontrolnych wyznaczane jest opóźnienie transmisji).

Proces strumieniowania prowadzi do rezerwacji zasobów systemowych we wszystkich urządzeniach transmisyjnych pomiędzy nadawcą a odbiorcą danych. W tym celu odbiorca przesyła do nadawcy pakiet rejestracyjny, który definiuje „ścieżkę transmisyjną”, po której transmitowany będzie strumień danych. Predefiniowano dwie klasy urządzeń, o zróżnicowanych wymaganiach transmisyjnych:

- Klasa A – urządzenia, dla których opóźnienie transmisji nie może przekroczyć 2ms
- Klasa B – urządzenia pozwalające na opóźnienia transmisji do 50ms.

W zależności od klasy, do której należy urządzenie odbiorcze retransmitery „na ścieżce” transmisyjnej rezerwują zasoby niezbędne do obsługi strumienia danych. Odebranie pakietu potwierdzającego rejestrację (od systemu źródłowego) jest jednocześnie weryfikacją możliwości realizacji transmisji w nowo zdefiniowanym strumieniu danych.

Mechanizm kolejowania i transmisji danych oparto na systemie wstępnej klasyfikacji i priorytetyzacji danych. Dane klasyfikowane są (zgodnie z protokołem IEEE802.1p) jako dane izochroniczne lub asynchroniczne. Na bazie zegara systemowego (8kHz) konstruowane są 125us szczeliny czasowe. Dane izochroniczne, jako wymagające reżimu czasowego transmitowane są na początku szczeliny, dane asynchroniczne w drugiej kolejności (w miarę możliwości czasowych).

Prekursorem wprowadzenia protokołu AVB do rzeczywistych systemów samochodowych jest firma BMW (model BMW X5). W obecnej chwili możliwości protokołu nie są do końca wykorzystywane. Firma ograniczyła implementację do wdrożenia mechanizmów pakietowania danych w struktury zdefiniowane przez standard IEEE1722 oraz wykorzystania protokołu PTP dla potrzeb realizacji procesu synchronizacji (specyfikacja Audio Video Bridging for Automotive)[11][12]. Pozostałe mechanizmy mogą zostać wykorzystane w przyszłości.

Protokół TTEthernet

Przedstawione wcześniej systemy A/V (sensory, kamery, anteny A/V) dostarczają ogromną ilość danych, które muszą zostać przetransmitowane do odpowiednich jednostek ECU, co gorsza transmisja taka musi być synchronizowana czasowo i umożliwiać dostarczenie danych w czasie rzeczywistym. Ponadto w pojeździe samochodowym istnieje również wiele systemów sensorycznych dostarczających dane do rozproszonych układów ECU. Dla większości danych tego typu proces

transmisji nie wymaga synchronizacji czasowej, czasem jednak systemy dostarczające informacje powinny mieć możliwość przekazania jej w jak najkrótszym czasie (dane neuralgiczne).

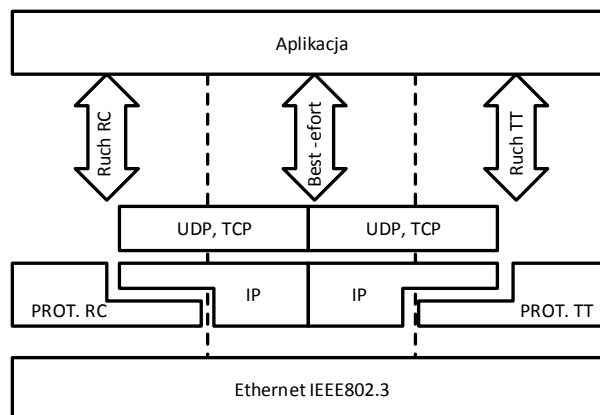
Obsługa tak złożonego ruchu nie jest możliwa przy wykorzystaniu klasycznego protokołu Ethernet, również założenia specyfikacji AVB pokazują, że nie jest ona do tego dostosowana. Doświadczenia zdobyte w systemach przemysłowych, wykorzystujących dziś powszechnie zmodyfikowany protokół Ethernet do realizacji transmisji czasu rzeczywistego (na bazie protokołów takich jak Profibus, EtherCAT, EthernetIP itp.), potwierdziły możliwość realizacji transmisji tego typu. Na bazie tych doświadczeń opracowano protokół TTEthernet (ang. Time Triggered Ethernet), który znalazł zastosowanie w przemyśle samochodowym [13][14].

Protokół TTEthernet [15][16] stanowi właściwie rozwinięcie protokołów przemysłowego Ethernetu. Podobnie jak one oferuje możliwość realizacji transmisji synchronicznych z określonym reżimem czasowym, oferuje ponadto dodatkowo możliwość realizacji transmisji „uprzywilejowanych” implementując jakby naturalnie system priorytetyzacji urządzeń a ponadto zachowuje kompatybilność i możliwość realizacji transmisji typu best-effort w klasycznym formacie ethernetowym.

Podstawą działania protokołu TTEthernet jest synchronizacja czasowa procesu transmisji, która realizowana jest w predefiniowanych szczelinach czasowych. Proces synchronizacji oparty jest na wykorzystaniu systemu dystrybucji czasu, podobnego do IEEE1588, z tą jednak różnicą, że w tym przypadku wykorzystywany jest wiele zegarów głównych (ang. Master Clock), tworzących odporne na błędy grupy transmisyjne zsynchronizowane czasowo [17][18].

Na bazie tak realizowanych transmisji uzyskujemy system oferujący:

- Możliwość segmentacji czasowej urządzeń (ang. Temporal Partitioning) – dzięki synchronizacji czasowej urządzeń możliwe jest zablokowanie transmisji od układów generujących błędy.
- Efektywne wykorzystywanie zasobów – możliwe jest stworzenie systemów z buforami danych o minimalnej pojemności (transmisja jest wolna od błędów i powtórzeń)
- Elastyczność i modularność stanowiące o uniwersalności systemu (ang. Composability).



Rys. 3. Struktura stosu TTEthernet

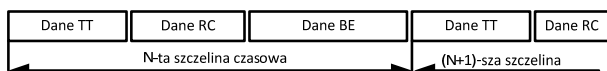
System TTEthernet realizuje transmisje z wstępną klasyfikacją ruchu. Wyróżnia się trzy klasy ruchu:

- TT - wyzwalany czasowo (ang. Time Triggered) – transmisja realizowana z minimalnym opóźnieniem i jitterem na bazie planów transmisji i odbioru zaimplementowanych w układach

- RC - Uprzywilejowany (ang. Rate-constrained) – transmisja bez synchronizacji czasowej, realizowana z jak najmniejszym opóźnieniem, gwarantująca poprawność dostarczenia danych,
- BE – „best-efort” – ruch bez gwarancji czasowych obsługi, kompatybilny z Ethernetem IEEE802.3.

Dane transmitowane są za pośrednictwem protokołu Ethernet. W warstwach wyższych wykorzystywane są protokoły TCP, UDP i IP, realizacja transmisji RC i TT wymaga jednak czasami zaimplementowania dedykowanych opracowanych dla TTEthernet protokołów warstw wyższych (Rys. 3).

Proces transmisji danych realizowany jest w predefiniowanych szczelinach czasowych, w ramach których transmitowane są dane użytkowe. Transmisje w czasie rzeczywistym (TT) posiadają najwyższy priorytet i realizowane są zawsze w momencie, kiedy zgodnie z ustalonym w systemie schematem czasowym węzeł generuje nową porcję danych tego typu. Kolejny poziom priorytetu to transmisje danych newralgicznych (RC), istotnych z punktu widzenia systemowego. Ich przekaz następuje natychmiastowo, pod warunkiem, że nie mają być aktualnie transmitowane dane typu TT. Jeśli taka transmisja ma być realizowana, przekaz danych RC zostaje odłożony ale zrealizowany zostaje w pierwszej wolnej chwili czasowej. Pozostałe dane stanowią klasę ruchową sklasyfikowaną jako best-efort (BE). Są to dane, które powinny oczywiście zostać dostarczone do systemu docelowego ale wielkość opóźnienia transmisji nie jest w tym przypadku istotna, więc przekaz jest realizowany w momentach kiedy nie są realizowane transmisje TT i RC.



Rys. 4. Realizacja transmisji w szczelinach czasowych ze wstępną klasyfikacją ruchu

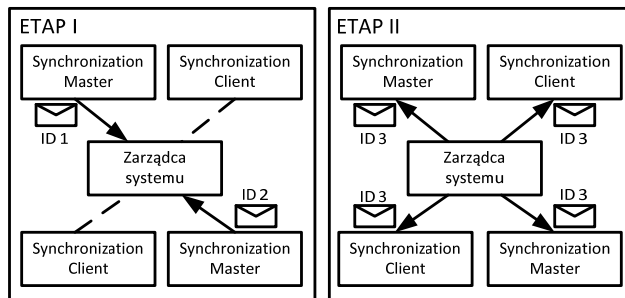
Teoretycznie struktura szczeliny transmisyjnej zawiera predefiniowane odcinki czasowe przeznaczone do transmisji danych każdego typu (Rys. 4), w rzeczywistości zawsze gwarantowana jest jedynie możliwość transmisji danych TT, pojawienie się większej ilości danych RC zmniejsza możliwość transmisji danych BE.

Najważniejszym elementem systemu jest wspólny zegar, w związku z tym bardzo istotne jest opracowanie mechanizmów synchronizacji czasu i dystrybucji sygnału zegarowego. Protokół TTEthernet posługuje się własnym, dedykowanym mechanizmem dystrybucji sygnału zegarowego, który jednakże może współpracować z

wykorzystywanymi dotychczas technologiami takimi jak np. IEEE1588.

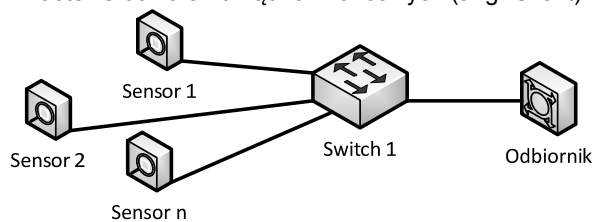
Mechanizm synchronizacji charakteryzuje znacząca redundancja urządzeń generujących sygnały zegarowe (ang. Synchronization Master), co zwiększyć ma poziom bezpieczeństwa systemu. Proces synchronizacji przebiega dwuetapowo (Rys. 5):

- W pierwszym kroku wszystkie urządzenia Master wysyłają swoje komunikaty zawierające informacje o sygnale zegarowym do zarządcy systemu (ang. Compression Master)



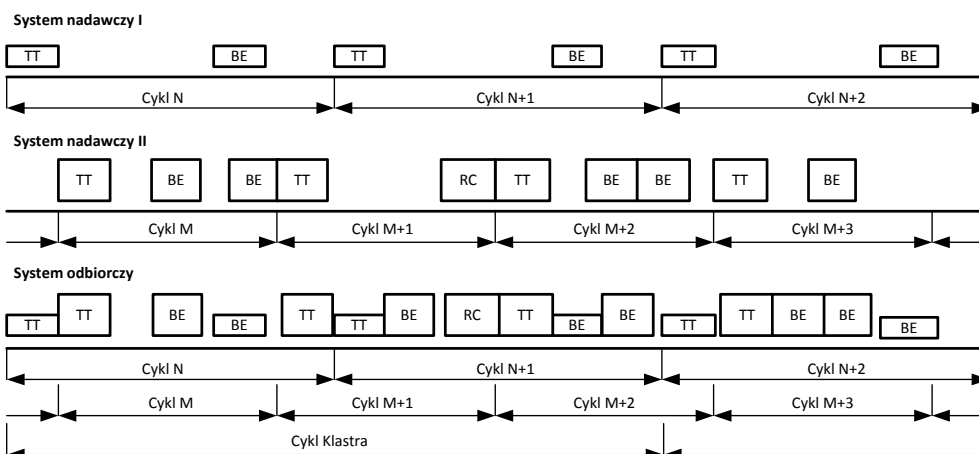
Rys. 5. Proces synchronizacji

- Następnie układ zarządzający dokonuje uśrednienia (wyznacza nową wartość) sygnału zegarowego pochodzącego od układów Master i formuje nowy komunikat systemowy zawierający informację o sygnale zegarowym, który jest wysyłany do wszystkich urządzeń Master Clock oraz urządzeń końcowych (ang. Client)

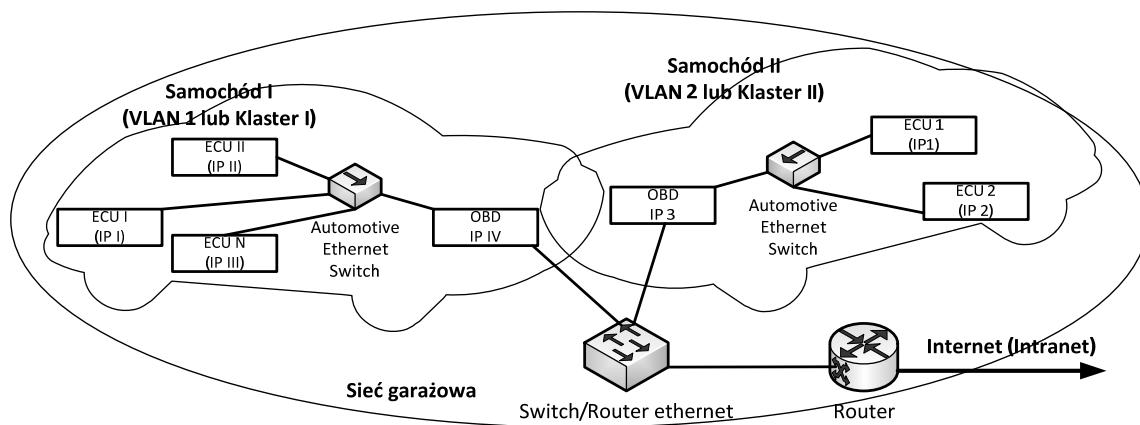


Rys. 6. Struktura sieci transmisyjnej

Dla potrzeb realizacji transmisji możliwe jest wykorzystanie różnorodnych topologii sieciowych, w których pracować może protokół TTEthernet. Najczęstszym przypadkiem jest wykorzystanie topologii gwiazdy, w której elementem centralnym jest oczywiście switch TTEthernet (Rys. 6).



Rys. 7. Proces nadzorowania priorytetyzacji w ruchu przełączanym TTEthernet - mechanizm kluczowania dla dwóch węzłów nadawczych i jednego odbiorcy



Rys. 8. System Ethernet jako sieć szkieletowa oraz interfejs komunikacji z siecią zewnętrzną

Algorytm przełączania jest jednakże bardziej skomplikowany niż w przypadku klasycznego Ethernetu, ponieważ switch realizować musi proces nadzorowania priorytetyzacji w ruchu przełączanym, związany z wstępną klasyfikacją transmitowanych danych. Proces ten nosi nazwę kluczowania danych. Przykład dla dwóch systemów nadawczych i jednego odbiornika obrazuje Rys. 7.

Tworzenie sieci szkieletowych

W perspektywie najbliższych lat bardzo prawdopodobne jest rozszerzenie zakresu wykorzystania protokołu Ethernet w systemach samochodowych. Opracowano już mechanizmy realizacji bardzo szybkich transmisji (1Gb/sec, 10Gb/sec) możliwych do implementacji w tak specyficznym środowisku, jakim jest wnętrze pojazdu samochodowego. Planowane jest wykorzystanie Ethernetu dla potrzeb konstruowania sieci szkieletowej, łączącej ze sobą sterowniki ECU. Opracowywane są również układy mostów pozwalających na łączenie urządzeń Ethernet (switchy) z samochodowymi magistrami komunikacyjnymi (CAN, FlexRay) [19][20][21][22]. Układy takich transceiverów znaleźć można w ofercie wielu producentów układów elektronicznych (Micrel, Freescale).

Ponieważ protokół Automotive Ethernet postrzegać należy zawsze jako pewną koegzystencję protokołu Ethernet i stosu protokołów internetowych (IP, TCP, UDP) bardzo ciekawa wydaje się również przyszłość tego zastosowania w kontekście tzw. Internetu Rzeczy (ang. Internet of Things). Z tej perspektywy można wyobrazić sobie strukturę sieci wewnętrznej pojazdu jako wyselekcjonowanego klastra sieciowego (lub odseparowanej sieci VLAN), w którym każdy ze sterowników posiada swój własny adres IP (Rys. 8). Taka struktura stanowi zamkniętą całość, która posiada jednak dzięki uniwersalnemu interfejsowi ethernetowemu możliwość dołączenia do rozbudowanej sieci zewnętrznej. W najprostszym przypadku np. do sieci garażowej (domowej), w której możliwe będzie przeanalizowanie danych z ostatnio przebytej trasy ale może również poprzez router zewnętrzny do publicznej sieci Internetowej. Bezpośrednia komunikacja z modułami komputerów pokładowych pojazdu z poziomu publicznego Internetu wydaje się być zbyt ryzykowna z punktu widzenia bezpieczeństwa systemów ale stworzenie dedykowanego Intranetu, w którym możliwa będzie np. automatyczna aktualizacja oprogramowania sterowników czy też zdalne serwisowanie układów jest już bardziej prawdopodobne.

Podsumowanie

Wykorzystanie protokołu Ethernet w zastosowaniach Automotive jest już powszechne. Pierwsze implementacje (systemy diagnostyczne) wykorzystywały bezpośrednio „klasyczny” niemodyfikowany protokół, korzystając z możliwości realizacji za jego pomocą transmisji dużych ilości danych. Modyfikacja warstwy fizycznej protokołu oraz rozszerzenie jego funkcjonalności o realizację transmisji w czasie rzeczywistym stworzyły możliwość szerszego wykorzystania protokołu Ethernet. Modyfikacje zaproponowane w specyfikacjach AVB i TTEthernet stanowią bazę do tworzenia klastrowych systemów transmisji danych dla systemów kamer i radarów pokładowych. Przyszłość również rysuje się obiecująco. Upowszechnienie Internetu Rzeczy oraz zapewnienie możliwości realizacji transmisji pomiędzy systemami samochodowymi, z prędkościami 1Gbps (i wyższymi) najprawdopodobniej stworzy możliwość opracowania nowych systemów komunikacji komputerów pokładowych pomiędzy sobą (sieć szkieletowa), jak również ze światem zewnętrznym - już nie tylko z systemami diagnostyki ale z chmurą inter/intra-netową zapewniającą dostęp do systemów pokładowych z poziomu publicznego Internetu.

Podziękowania

Praca została sfinansowana ze środków przyznanych na działalność statutową Katedry Elektroniki AGH w Krakowie.

Autorzy: dr hab. inż. Ryszard Golański, prof. AGH; dr hab. inż. Witold Machowski; dr inż. Jacek Kołodziej; dr inż. Jacek Stępień; mgr inż. Juliusz Godek
AGH Akademia Górniczo-Hutnicza imienia Stanisława Staszica w Krakowie, Katedra Elektroniki, al. Adama Mickiewicza 30, 30-059 Kraków;
E-mail: [ryszard.golanski, witold.machowski, jacek.kolodziej, jacek.stepien, juliusz.godek]@agh.edu.pl;

REFERENCES

- [1] Navet N., Simon+Lion F., In-vehicle communication networks-a historical perspective and review, International Communication Technology handbook, 2nd ed., vol. 96, pp. 1204-1223, CRC Press, 2013
- [2] Tuohy S., Hughes C., Jones E., Trivedi M., Kilmartin L., Intra-Vehicle Networks: A Review, IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems, vol. 16, No. 2, 2015
- [3] Hyung-Teak Lim, Volker L., Herscher D., Challenges in a Future IP/Ethernet-based In-Car Network for Real-Time Applicationc, Design Automotive Conference (DAC), San Diego, California, USA, 2011

- [4] Jones M., Micrel Incorporation, Time is Right for Automotive Ethernet: Real Time Ethernet for Automotive Networks, http://www.micrel.com/page.dp?page=product-info/ether_over.jsp
- [5] Abaye A., Broadcom Corporation, BroadR-Reach® Technology, enabling one pair Ethernet, 2012
- [6] BroadR-Reach® Physical Layer Transceiver Specification for Automotive Applications, Broadcom Corporation, 2014 [1] Zinner H., Noebauer J., Gallner T., et. Al. - .Applications and realization of gateways between conventional automotive and IP/Ethernet based networks , Proc. Of the 48th ACM/EDA/IEEE Design Automotive Conference, pp. 1-6, 2011
- [7] Lo Bello L., Novel trends in Automotive Networks: A perspective on Ethernet and IEEE Audio Video Bridging, IEEE Emerging Technology and Factory Automation (ETFA), 2014
- [8] IEEE Standard for Local and Metropolitan Area Networks , Virtual Bridging Local Area Networks, Stream Reservation Protocol, IEEE Std 802.1Qat
- [9] IEEE Standard for Local and Metropolitan Area Networks , Virtual Bridging Local Area Networks, Forwarding and Queuing Enhancements for Time-Sensitive Streams, IEEE Std 802.1Qav
- [10] Precision Time Protocol, 2013. [Online]. Available: http://www.hirschmann.com/en/Hirschmann_Produkte/Industriale_Ethernet/Technologies/Precision_Time_Protocol/index.phtml
- [11] Audio/Video Transmission in car using Ethernet – BMW whitpapeer
- [12] Bähren F. (Intel Corporation), Kicherer M. (BMW AG), Boatright R. (Harman International), The Automotive Profile: In-Car Audio/Video Transmission with AVB
- [13] Steinbach T., Korf F., Schmidt T.C., Real-time Ethernet for automotive applications: A solution for future in-cars networks, Proc. IEEE ICCE, pp. 216-220, Berlin, 2011
- [14] Steinbach T., Korf F., Schmidt T.C., Comparing time-triggered Ethernet with FlexRay: An evaluation of competing approaches to real-time for in vehicle networks, Proc. IEEE Int. Workshop Factory Communication Syst. Proc., pp. 199-202, 2010
- [15] Time-Triggered Ethernet – A Powerful Network Solution for Multiple Purpose, TTEthernet Technical Whitepaper, TTTech Computertechnik AG
- [16] Steiner W., TTTech Computertechnik AG , An Introduction to TTEthernet, Deterministic Networking (DetNet), TU Vienna, 2013
- [17] Ademaj A., Kopetz H., Time-triggered Ethernet and IEEE1588 clock synchronization, Proc. IEEE Int. Symp. Precision Clock Synchronization Meas., Control
- [18] Lim H.T., et al., Time Synchronization in Switched Ethernet based In-Car Network, VNC 2011, pp. 147-154, 2011
- [19] Zinner H., Noebauer J., Gallner T., et. Al. - .Applications and realization of gateways between conventional automotive and IP/Ethernet based networks , Proc. Of the 48th ACM/EDA/IEEE Design Automotive Conference, pp. 1-6, 2011.
- [20] Kern A., Reinhard D., Streichert T., Gateways strategies for embedding of automotive CAN-frames into Ethernet-packets and vice versa, 24th International Conference on Architecture of Computing Systems, Milano 2011, Lecture Notes in Computer Science, Vol. 6566, pp. 259-270, 2011
- [21] Aboubacar D., Zimmermann A., System Design Issues for Future In-vehicle Ethernet-Based Time- and Safety-Critical Networks, IEEE 2015
- [22] Apostolache M., Neamtu G., trofin S. D., CAN-ethernet Gateway for Automotive Applications, IEEE 2013