

Wojciech WÓJTOWICZ

Wyższa Szkoła Biznesu – National-Louis University, Wydział Informatyki

ANALIZA ROZWIĄZAŃ SIECI PRZEMYSŁOWYCH O OTWARTYM KODZIE OPARTYCH NA TECHNOLOGII ETHERNET

Streszczenie. W przemyśle oraz poza nim funkcjonuje wiele odmian Ethernetu. Dzięki integracji w mikrokontrolerach interfejsów standardu Ethernet tworzenie sieci dla urządzeń automatyki przemysłowej stało się coraz powszechniejsze. Poniższe opracowanie prezentuje, w jaki sposób popularne sieci przemysłowe, takie jak: EtherNet/IP, Ethernet POWERLINK, EtherCAT czy SERCOS III, wykorzystują pełny lub zmodyfikowany standard Ethernet do realizacji zadań w systemach czasu rzeczywistego oraz porównuje zastosowane rozwiązania.

Słowa kluczowe: Ethernet, EtherNet/IP, Powerlink, EtherCAT, SERCOS

ANALYSIS OF THE OPEN SOURCE INDUSTRIAL NETWORK SOLUTIONS BASED ON ETHERNET TECHNOLOGY

Summary. There are many varieties of Ethernet in the industry and beyond it. Thanks to integration in microcontrollers of Ethernet interfaces networking for devices of industrial automation became more and more universal. This paper shows how popular industrial networks such as EtherNet/IP, Ethernet Powerlink, EtherCAT, SERCOS III, utilize the full or modified standard Ethernet for the execution of the tasks in real time and compares the applied solution.

Keywords: Ethernet, EtherNet/IP, Powerlink, EtherCAT, SERCOS

1. Wprowadzenie

Ethernet funkcjonuje w rozwiązaniach przemysłowych już od dłuższego czasu. Jednak lokalizowany był zazwyczaj w górnych warstwach zastosowań, w których występują funkcje zarządzania. Ze względu na charakterystykę przesyłanych danych, czyli dużo większej ilości

danych niż w zastosowaniach przemysłowych oraz braku determinizmu, wynikającego głównie z zastosowań modelu CSMA/CD i działania stosu protokołów TCP/IP, Ethernet nie był wykorzystywany jako potencjalny protokół warstw polowych (ang. *fieldbus*). Dodatkowo, charakter przesyłania danych w sieciach przemysłowych wymusza przesyłanie krótkich porcji z dużą częstotliwością i w ściśle określonym czasie [1, 2, 3].

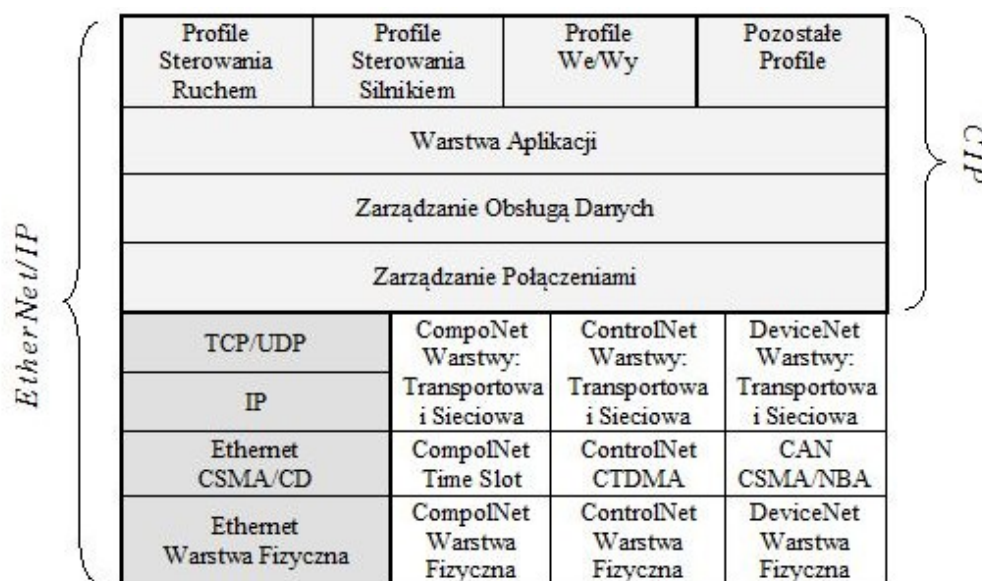
Zależnie od wymogu pracy w trybie czasu rzeczywistego stosowane są różne metody implementacji standardu Ethernet w sieciach przemysłowych. Część z nich zakłada wykorzystanie niezmodyfikowanej warstwy sprzętowej Ethernetu, jak również zachowanie niezmiennego stosu procesu komunikacji protokołów TCP/IP. Inny model rozwiązań wciąż używa niezmodyfikowanej warstwy sprzętowej standardu Ethernet, jednak w procesie komunikacji nie wykorzystuje już stosu TCP/IP. Zastępują go dedykowane rozwiązania wyższych warstw modelu OSI. W niższych warstwach dane transportowane są dalej w ramach Ethernet. W ostatniej grupie rozwiązań zwraca się szczególną uwagę na wydajność komunikacji. Dla jej osiągnięcia wykorzystuje się tu dedykowane rozwiązania sprzętowe. Przykładem mogą być specjalne kontrolery Ethernet czasu rzeczywistego czy dedykowane przełączniki.

2. EtherNet/IP

EtherNet/IP (Industrial Protocol), znany również jako Common Industrial Protocol (CIP) implementowany w standardzie Ethernet (IEEE 802.3) został wprowadzony w 2001 roku przez firmę Rockwell Automation. Obecnie zarządzany jest przez organizację Open DeviceNet Vendors Association (ODVA) i należy do rodziny protokołów CIP, podobnie jak DeviceNet, ControlNet czy CompoNet. Jako niezależny od medium oraz bazujący na protokole CIP umożliwia łatwą integrację aplikacji przemysłowych z warstwą Ethernetu. EtherNet/IP mapuje komunikację CIP na TCP/IP oraz Ethernet, co umożliwia współpracę wielu urządzeń pracujących w sieci Ethernet (rys. 1) [4, 5, 6].

Tak więc EtherNet/IP należy do grupy technologii sieci przemysłowych, korzystających ze standardowych urządzeń Ethernet oraz stosu protokołów TCP/IP.

Dla wymiany danych w trybie krytycznej kontroli czasu udostępniono model Producent-Dostawca-Konsument. Umożliwia on wymianę informacji pomiędzy urządzeniem wysyłającym (producentem) a wieloma urządzeniami odbiorczymi (konsumentami), bez konieczności wielokrotnego wysyłania danych do wielu odbiorców. W przypadku Ethernet/IP jest to osiągnięte poprzez wykorzystanie protokołu CIP i warstwy transportowej wraz z rozgłaszaniem IP (ang. *broadcast*) oraz rozgłaszaniem grupowym (ang. *multicast*). Komunikacja CIP prowadzona jest pomiędzy węzłami końcowymi i wykorzystuje ustalone połączenie TCP. Jedno połączenie TCP może obsługiwać wiele połączeń CIP [4].



Rys. 1. Model warstwowy EtherNet/IP [5]
 Fig. 1. Layered Model of EtherNet/IP [5]

Ze względu na zastosowanie komunikacji rozgłoszeniowej na przełącznikach używa się Internet Group Management Protocol snooping [8], który ogranicza rozgłaszanie tylko do portów związanych z daną grupą rozgłoszeniową.

Ethernet/IP wykorzystuje także technologię Ethernet DLR (Device Level Ring). Jest to opracowany i wprowadzony w listopadzie 2008 roku przez ODVE protokół warstwy drugiej, umożliwiający wieloportowym urządzeniom EtherNet/IP pracę w topologii pierścienia. Zastosowanie takiego rozwiązania redukuje liczbę wykorzystywanych przełączników, upraszcza okablowanie sieci i co najważniejsze pozwala na nieprzerwaną pracę, także w przypadku awarii połączenia pomiędzy dwoma urządzeniami [9]. Zaawansowane opcje topologii sieci Ethernet/IP obsługują także kombinację kilku pierścieni, w tym pierścieni redundantnych.

Dla zapewnienia synchronizacji czasu, niezależnej od programowych opóźnień (tzw. jitter) oraz opóźnień, wynikających z właściwości stosu TCP/IP, ODVE wprowadziło wersję EtherNet/IP opartą na sprzętowej kontroli czasu, zwanej „EtherNet/IP with CIP Sync”. Dodanie rozwiązań CIP Sync poprawia zachowania systemu w czasie rzeczywistym, natomiast nie podnosi przepustowości czy wydajności sieci. Zastosowanie kontroli sprzętowej przesuwają ten typ EtherNet/IP do klasy urządzeń trzeciego typu, tj. takich, które wymagają użycia dedykowanych urządzeń.

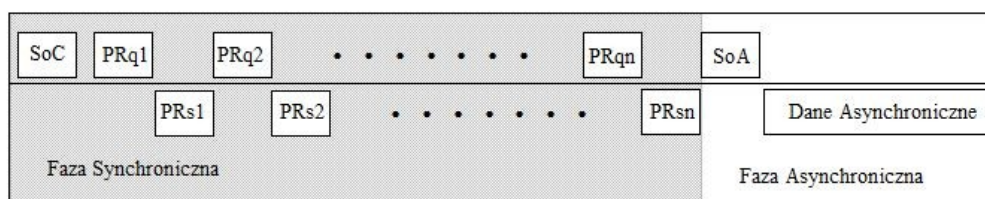
3. Powerlink

Powerlink został opracowany przez firmę B & R i wprowadzony na rynek w 2001 roku. Pierwotnie funkcjonował jako zastrzeżona technologia, jednak po 2002 roku zdecydowano

o otwarciu technologii. Powstała grupa konsorcjów Ethernet Powerlink Standardization Group (EPSG). Podjęto także decyzję o integracji protokołu Powerlink z mechanizmami protokołu CANopen [10, 11] – również otwartym standardem, doprowadzając do powstania obecnie funkcjonującej wersji Powerlink opartej na Ethernetie. Rozwiązanie to plasuje się w drugiej grupie technologii, które nie wymagają dodatkowych rozwiązań sprzętowych, jednak dokonują pewnych modyfikacji stosu protokołów TCP/IP.

Powerlink zastępuje model CSMA/CD standardu Ethernet odpytaniem poprzez rozgłoszenia. Urządzenie Master, nazywane węzłem zarządzającym (ang. *Managing Node*), wysyła zapytanie do urządzeń Slave, nazywanych węzłami kontrolowanymi (ang. *Controlled Node*) – w postaci rozgłoszenia, a następnie odpowiada stacja wywołana w zapytaniu. Oznacza to także, że wszystkie węzły otrzymują wszystkie ramki, co wymusza na nich konieczność ciągłego filtrowania ramek. Taki sposób dostępu do medium w specyfikacji Powerlink nazywany jest „Slot Communication Network Management” [10, 12].

Wszystkim węzłom w sieci zostaje narzucona konieczność przestrzegania właściwej kolejności i z góry określonego terminu przesyłania (rys. 2). Trzeci okres każdego cyklu jest początkiem fazy asynchronicznej; przesyłane są nim dane niekrytyczne czasowo.



Rys. 2. Synchroniczne i asynchroniczne fazy pojedynczego cyklu POWERLINK. SoC – Start of Cycle, PRq – Pool Request, PRs – Pool Respons, SoA – Start of Asynchronous

Fig. 2. The POWERLINK cycle. SoC – Start of Cycle, PRq – Pool Request, PRs – Pool Respons, SoA – Start of Asynchronous

Węzeł zarządzający (MN – *Managing Node*) inicjuje cykl asynchroniczny poprzez wysłanie sygnału Start-of-Asynchronous (SoA). W kolejnym kroku węzeł zarządzany CN może żądać „uprawnienia wysyłania” od MN. Ten ostatni używa harmonogramu, aby zdecydować, które urządzenia mogą wysyłać swoje asynchroniczne dane w określonym cyklu i zachęca urządzenie do wysłania poprzez ramkę zapraszającą (ang. *Invite Frame*). Ogólna zasada stanowi, że w danym okresie asynchronicznym tylko jedno urządzenie może wysyłać dane. Jeżeli urządzenie ma wysłać więcej danych, przekraczających zdolność jednego cyklu, dane dzielone są na kilka cykli [10].

Początkowo Powerlink zakładał wykorzystanie tylko standardowych układów Ethernet. Okazało się jednak, że wydajność programowa stosu protokołów jest niewystarczająca, co ograniczało dotychczasowy zakres zastosowań lub wymagało bardzo wydajnych procesorów. Od 2007 roku węzły zarządzające były implementowane na FPGA, co zwiększyło zakres zastosowań Powerlink. Najnowsze rozwiązania oparte są także na specjalizowanych procesorach.

rach sieciowych typu ARM. Wprowadzono również kilka rozwiązań poprawiających wydajność Powerlink, takich jak: natychmiastowe rozgłaszanie zapytań, sortowanie odpowiedzi w kolejki na przełącznikach oraz synchronizację, zgodną z IEEE1588 [13].

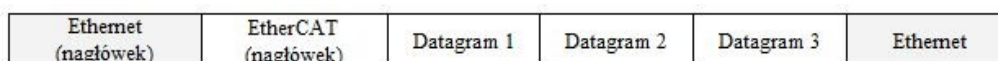
Dla pełnej integracji funkcji bezpieczeństwa wprowadzono, funkcjonującą w warstwie transmisji danych, technologię Powerlink Safety. Niezależność od protokołu transmisji sprawia, że Powerlink Safety jest także kompatybilny z innymi urządzeniami sieci polowych. Spełnia również normy IEC 61508 SIL Cat3 [14].

Dodatkowym mechanizmem zabezpieczającym może być zastosowanie rozwiązań redundancji. Powerlink umożliwia realizację zarówno redundancji połączeń, jak i redundancję poszczególnych węzłów sieci w układzie pierścienia, a także podwójnej linii. Działanie tego drugiego polega na tym, że dane w tym samym czasie są wysyłane przez nadajnik po dwóch liniach. Po odebraniu po stronie odbiornika, dane z obydwu linii są sprawdzane pod kątem ich spójności i poprawności. Jeden z tych telegramów, który pozytywnie przeszedł weryfikację, jest przekazywany do stacji Powerlink. Jeżeli obydwa odebrane telegramy są poprawne i identyczne – jeden z nich wędruje dalej. Gdy telegramy są różne, z powodu uszkodzenia linii lub utraty łączności, wówczas tylko poprawne dane są udostępniane do dalszej retransmisji. Detekcja błędów, diagnostyka linii oraz przełączanie trasy dokonuje się w „locie” i zajmuje czas rzędu mikrosekund [10, 15].

4. EtherCAT

EtherCAT jest otwartą technologią wspieraną przez grupę The EtherCAT Technology Group. Sieci EtherCAT należą do technologii wymagających dedykowanych rozwiązań sprzętowych. Wynika to choćby z faktu, że stacje Slave wymagają dedykowanych kontrolerów tzw. EtherCAT Slave Controller (ESC). Pomimo to EtherCAT jest zgodny z Ethernet choćby dlatego, że na urządzeniach Master nie wymaga się stosowania dedykowanych rozwiązań sprzętowych. W ich przypadku stosowany jest więc standardowy kontroler Ethernetowy. Jest to możliwe również dlatego, że cały proces synchronizacji realizowany jest poprzez sprzętowe rozwiązania urządzeń Slave [16, 17].

Sposób enkapsulowania danych jest konsekwencją ich charakteru w sieciach przemysłowych, tj. częstych wymian niewielkich porcji danych. Dane z poszczególnych urządzeń Slave umieszczane są w tej samej ramce Ethernet, a cały proces odbywa się w trakcie przepływu danych przez urządzenia Slave. Proces umieszczania danych poszczególnych węzłów w części danych aktualnie przetwarzanej ramki kontroluje jednostka o nazwie Fieldbus Memory Management Unit (FMMU). W podobny sposób (w trakcie przepływu danych przez kolejne węzły) kontrolowana jest suma kontrolna ramki. Pozwala to na bardzo szybką detekcję błędów.



Rys. 3. Ramka EtherCAT enkapsulowana wewnątrz ramki Ethernet
 Fig. 3. EtherCAT frame encapsulated inside an Ethernet frame

EtherCAT może pracować w dowolnej topologii, począwszy od tradycyjnej dla sieci polowych magistrali czy pierścienia, aż po dowolną topologię drzewa z wykorzystaniem koncentratorów i przełączników. Zależnie od zastosowanych interfejsów oraz urządzeń tworzących topologię sieci możliwe jest wykorzystanie zarówno mediów miedzianych, jak i światłowodowych.

O dużej elastyczności możemy również mówić w przypadku mechanizmu redundancji. Jest ona bowiem możliwa w EtherCAT zarówno w przypadku topologii magistrali, jak i pierścienia. W topologii magistrali detekcja uszkodzenia połączenia przez urządzenia Slave skutkuje zamknięciem obwodu na urządzeniu poprzedzającym miejsce awarii, tworząc tym samym obwód pierścienia. Tak powstały obwód obejmuje urządzenia zlokalizowane przed miejscem wystąpienia awarii. Podobnie zachowują się urządzenia Slave w topologii pierścienia. W przypadku tej topologii wystąpienie awarii skutkuje podziałem na dwa pierścienie po jednej i po drugiej stronie miejsca wystąpienia awarii, a żadne z urządzeń nie zostaje wyłączone z procesu komunikacji [16, 17].

Funkcje bezpieczeństwa realizowane są za pomocą Safety over EtherCAT oraz za pośrednictwem sprzętu lub dedykowanych systemów bezpieczeństwa magistrali. Dzięki lokalizacji w warstwie aplikacji protokół ten jest niezależny od warstwy sprzętowej, co pozwala spełnić wymogi SIL3 (Safety Integrity Level 3).

Podobnie jak w Powerlink, EtherCAT może obsługiwać urządzenia wykorzystujące protokół CANopen. Jest też w pełni otwarty na protokoły TCP/IP i jest łatwo skalowalną technologią, w której rozbudowa istniejącej sieci, niezależnie od topologii, nie stanowi większego problemu [16].

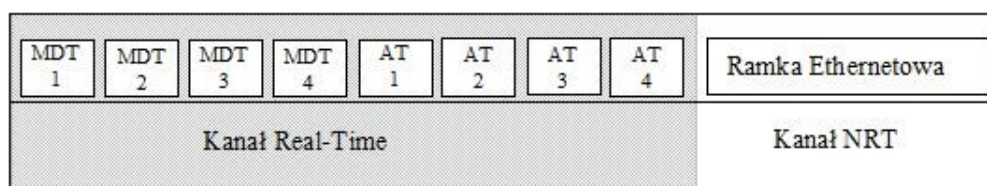
5. SERCOS III

SERCOS, czyli Serial Realtime Communications System został opracowany przez SERCOS International. Pierwsze dwie generacje SERCOS I oraz SERCOS II wykorzystywały topologię jednego lub wielu pierścieni światłowodowych w konfiguracji Master/Slave. Determinizm i bezkolizyjny dostęp w SERCOS I i II kontrolowany był przez urządzenie Master. Decydowało ono o przydziale szczelin czasowych dla poszczególnych urządzeń Slave w zarządzanych przez nie pierścieniach. Dopiero wersja SERCOS III umożliwia komunikację protokołów stosu TCP/IP w standardowych ramach Ethernet, w trakcie pracy sieci, w czasie rzeczywistym. Dane standardu Ethernet transmitowane są kanałem non-real-time (NRT),

umieszczonym tuż za kanałem RT i nie wpływają na komunikację danych kanału czasu rzeczywistego real-time.

Jak pokazuje rys. 4, kanał *real-time* składa się z pakietów MDT (*Master Data Telegram*) oraz AT (*Answer Telegram*). Te pierwsze służą do przekazywania komunikatów urządzeń Master do urządzeń Slave, zgodnie z kolejno przypisanymi podczas fazy inicjalizacji identyfikatorami. Jak wynika z informacji publikowanych przez SERCOS International, w pojedynczym cyklu urządzenie Master jest w stanie obsłużyć do 4 telegramów MDT. Podobna sytuacja zachodzi w przypadku telegramów AT, przekazujących stan urządzeń Slave. Ich liczba w pojedynczym cyklu określona jest na maksymalnie 4 telegramy [18].

W kanale NRT umieszczone są dane IP w standardowych ramach Ethernet. Komunikacja w tym trybie umożliwia więc wymianę danych z urządzeniami pracującymi w trybie *non real-time*, np. urządzeniami monitorującymi [19].



Rys. 4. Sekwencja telegramów SERCOS III w pojedynczym cyklu
 Fig. 4. SERCOS III communication cycle

Synchronizacja w SERCOS III wymaga specjalnego wsparcia sprzętowego na urządzeniach Master, co realizowane jest poprzez karty Sercos Master. W 2007 roku Sercos International wprowadziło również rozwiązanie Soft Master, czyli realizację funkcji Master na standardowym interfejsie Ethernet, przy wsparciu programowym realizowanych zadań synchronizacji. W tym przypadku parametry czasowe są jednak gorsze od rozwiązań opartych na synchronizacji sprzętowej [18].

6. Zestawienie parametrów

Zgodnie z podziałem, zaprezentowanym na wstępie artykułu, klasę technologii niewymagających dedykowanych rozwiązań sprzętowych reprezentują sieci EtherNet/IP. Z wyłączeniem „EtherNet/IP with CIPsync” mogą być one implementowane na standardowych układach sprzętowych. Ze względu na wykorzystanie modelu Common Industrial Protocol, operującego głównie w warstwie aplikacji modelu OSI, sieci EtherNet/IP pracują, począwszy od warstwy transportowej, opierając się na standardowym stosie protokołów TCP/IP. Na podstawie zestawienia z tab. 1 widzimy, że sieci te mogą pracować tylko w tzw. trybie *Soft Real-Time*. Wskazują na to także parametry czasu pojedynczego cyklu, czasy opóźnień oraz znacznie wyższy od pozostałych sieci maksymalny jitter – na poziomie 20 μs.

Tabela 1

Zestawienie poszczególnych parametrów analizowanych technologii
[4, 10, 12, 16, 18, 20, 21]

	EtherNet/IP	POWERLINK	SERCOS III	EtherCAT
Organizacja zarządzająca	ODVA	EPG	SERCOS Int.	ETG
Real-Time	Soft Real-Time	Hard Real-Time	Hard Real-Time	Hard Real-Time
Topologia	Gwiazda, Pierścień	Magistrala, Gwiazda, Pierścień	Magistrala, Pierścień	Magistrala, Gwiazda, Pierścień
Przeciętny czas cyklu	> 10 ms	< 500 μ s	31,5 μ s	< 50 μ s
Maksymalny jitter	20 μ s	1 μ s	1 μ s	1 μ s
Minimalny czas opóźnień	2-6 ms	400 μ s	125 – 250 μ s	125 – 500 μ s
Profil urządzeń	CIP Motion Drive	CANopen	SERCOS	CANopen
Bezpieczeństwo	CIPSafety	openSafety	CIPSafety	Safety over EtherCAT

Podobnie w przypadku Powerlink możemy korzystać ze standardowych kontrolerów sieciowych. Ze względu na pewne modyfikacje w obszarze stosu protokołów TCP/IP technologia ta lokowana była w grupie sieci bez dedykowanych rozwiązań sprzętowych, a wprowadzających zmiany w sposobie funkcjonowania standardowych mechanizmów protokołu Ethernet. Jednak ze względu na niską wydajność rozwiązań wykorzystujących standardowe kontrolery sieciowe zdecydowano się na wprowadzenie bardziej wydajnej implementacji z zastosowaniem układów FPGA. Takie rozwiązanie spowodowało przesunięcie sieci Powerlink do trzeciej grupy technologii, wymagających zmian w obszarze rozwiązań sprzętowych. Grupę tę tworzą również sieci SERCOS III oraz EtherCAT. Sieci te osiągają najlepsze parametry czasowe, tj. krótki czas pojedynczego cyklu oraz niskie czasy opóźnień. Także jitter rzędu 1 μ s jest na podobnym, bardzo niskim poziomie. W pierwszym przypadku wynika to z konieczności wsparcia sprzętowego stacji master (specjalnie dedykowana karta Sercos Master) i choć dostępne są rozwiązania oparte tylko na standardowych kontrolerach sieciowych – rozwiązanie „Soft Master” – to lepsze parametry pracy uzyskamy przy dedykowanym rozwiązaniu sprzętowym. W przypadku sieci EtherCAT stacje Slave realizowane są za pomocą EtherCAT Slave Controller i pomimo że stacje Master nie wymagają specjalnych rozwiązań sprzętowych, sieci te zaliczane są do trzeciej z omawianych grup technologii.

BIBLIOGRAFIA

1. Kwiecień A.: Analiza przepływu informacji w komputerowych sieciach przemysłowych. *Studia Informatica*, Vol. 22, No. 3 (45), Gliwice 2002.
2. Decotignie J. D.: Ethernet-based real-time and industrial communication. *Proc. IEEE*, Vol. 93, No. 6, 2005, s. 1102÷1117.
3. Daudt K.: Przekraczając granice Ethernetu. *Control Engineering Polska*, 2010.
4. [online] www.odva.org.
5. ODVE: EtherNet/IP Quick Start for Vendors Handbook, 2008.
6. ODVA: EtherNet/IP™ – CIP on Ethernet Technology. *Technology Overview Series*, 2006.
7. ODVA: EtherNet/IP Adaptation of CIP Specification. Release 1.0, 2005.
8. Tomaszewski M., Szmit M.: IGMP-snooping i testy odpowiedzi. *Nowe Technologie Sieci Komputerowych*, WKŁ, Warszawa 2006.
9. Lee J. C., Forguites J.: Ring Topologies Provide Control-Level Network Resiliency. *Automation Today*, 2010.
10. [online] www.ethernet-powerlink.org.
11. CANopen Application Layer nad Communication Profile, CiA/DS301, Version 4.01, *CAN In Automation*, 2000.
12. EPSG: Ethernet POWERLINK – Communication Profile Specification. Version 1.1.0, *EPSC Draft Standard 301*, 2008.
13. Eidson J. C.: *Measurement, Control and Communication Using IEEE 158*. Springer 2006.
14. *Automatyka Online: Ethernet POWERLINK – przemysłowy Ethernet z deterministycznym protokołem czasu rzeczywistego*. *Wortal Automatyki Przemysłowej* 2008.
15. IXXAT: A question of flexibility: Implementation strategies for POWERLINK, http://www.ixxat.com/article-powerlink-implementation-strategies_en.html.
16. [online] www.ethercat.org.
17. EtherCAT Technology Group: EtherCAT – The Ethernet Fieldbus, <http://www.ethercat.org> October 2009.
18. [online] www.sercos.com.
19. Bosch Rexroth, SERCOS III Real-time Communication with Ethernet, 2008, <http://www.sercos.org>
20. Seitz B., Samuelian M.: A Universal Approach for implementing Real-Time Industrial Ethernet. *IXXAT* 2007.
21. Smołąg J.: Przegląd i analiza standardów komunikacji czasu rzeczywistego za pośrednictwem sieci Ethernet, Politechnika Częstochowska, Wydział KiK, projekt badawczy 2007-2010.

Recenzenci: Prof. dr hab. inż. Bolesław Pochopień
Prof. dr hab. inż. Tadeusz Wieczorek

Wpłynęło do Redakcji 9 kwietnia 2011 r.

Abstract

There are many varieties of Ethernet in the industry and beyond it. Thanks to integration in microcontrollers of Ethernet interfaces networking for devices of industrial automation became more and more universal. This paper shows how popular industrial networks such as EtherNet/IP, Ethernet Powerlink, EtherCAT, SERCOS III, utilize the full or modified standard Ethernet for the execution of the tasks in real time and compares the applied solution. Next chapters describe the details of the individual standards. Thus, Chapter 2 deals with the standard EtherNet/IP and its layered model (Fig. 1). It also presents the technologies Device Level Ring and EtherNet/IP with CIP Sync. Chapter 3 describes the standard Powerlink along with the process of communication in synchronous and asynchronous mode (Fig. 2). This part of paper describes the mechanism Slot Communication Network Management, which replaces the mechanism of CSMA/CD Ethernet. The next chapter deals with EtherCAT standard and placing data in ethernet frame (Fig. 3). It also describes the mechanisms to synchronize the data and work in real time. Chapter 5 relates to the standard SERCOS III. Communication process is presented in the channel real-time and non-real-time (Fig. 4). The article ends with comparison of technology, which shows a summary of analysed technology parameters (Table 1).

Adres

Wojciech WÓJTOWICZ: Wyższa Szkoła Biznesu – National-Louis University, Wydział Informatyki, ul. Zielona 27, 33-300 Nowy Sącz, Polska, wwojtow@wsb-nlu.edu.pl