

Piotr GAJ

Politechnika Śląska, Instytut Informatyki

Józef OBER

Instytut Informatyki Teoretycznej i Stosowanej PAN

PROBLEMY Z WYKORZYSTANIEM SIECI ETHERNET W APLIKACJACH PRZEMYSŁOWYCH

Streszczenie. W artykule proponuje się najpopularniejszy obecnie standard sieci, a mianowicie sieć Ethernet jako alternatywę dla specjalizowanych rozwiązań komunikacyjnych w systemach przemysłowych. Standard Ethernet jest powszechnie dostępny i znany, a koszt jego wdrożenia i eksploatacji jest atrakcyjny względem systemów specjalizowanych. Stały dynamiczny rozwój pozwala przypuszczać, iż w najbliższym czasie pojawi się on w powszechnym użyciu w zastosowaniach, gdzie obecnie brak jest jednolitego standardu. Do takich zastosowań należą systemy informatyczne pracujące na usługach obiektów przemysłowych.

Słowa kluczowe: Ethernet, TCP/IP, sieci przemysłowe, determinizm.

PROBLEMS WITH ETHERNET NETWORK USING IN INDUSTRY APPLICATION

Summary. In the article it is proposed to use the most popular nowadays Ethernet standard as an alternative solution for specialised communication subsystems used in industry computer systems. The Ethernet standard is commonly available and well known. The application and the cost of using it is very attractive when compared to specialised systems. Continuous dynamic development allows supposing that this standard will soon be in common use, in such applications, in which a uniform standard does not exist presently. The computer systems used in industry belong to this kind of applications.

Keywords: Ethernet, TCP/IP, industrial networks, determinism.

1. Wstęp

Obecnie na całym świecie istnieje silna tendencja do wykorzystywania łącza Ethernet w lokalnych połączeniach rozproszonych systemów przemysłowych. Zastosowanie tego łącza nie ogranicza się do poziomów sieci lokalnych zakładu stanowiących warstwę nadzorczą [2, 8, 10], lecz pełni również funkcję podstawowego łącza wymiany informacji w systemie na poziomie procesu [3, 8]. Należy zastanowić się, z czego wynika ta popularność. Aktualnie istnieją trzy powody:

- cena,
- popularność,
- dostępność.

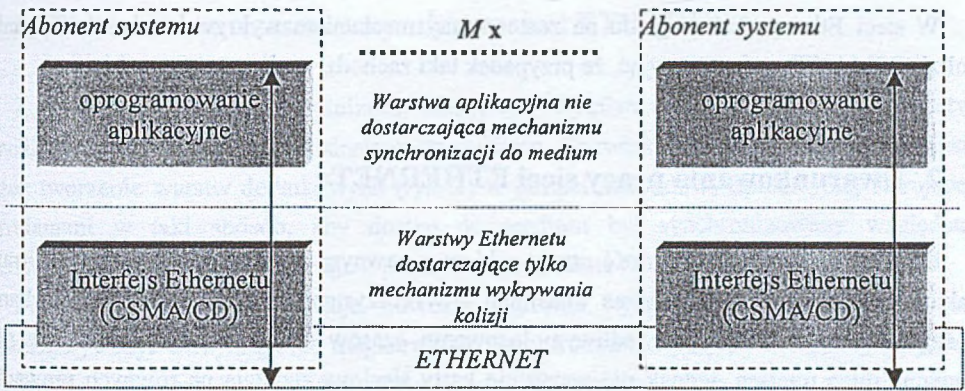
Koszt całej struktury komunikacyjnej opartej na standardzie Ethernet jest znikomy w porównaniu ze specjalizowanymi systemami przeznaczonymi dla przemysłu. Rosnąca popularność rozwiązań na bazie standardu Ethernet powinna spowodować w najbliższym czasie jeszcze zwiększanie dysproporcji pomiędzy kosztami systemów wykorzystujących sieć Ethernet a systemów specjalizowanych. Popularność sieci Ethernet jest ogromna i w literaturze szacuje się, iż obecnie ok. 85% sieci lokalnych na świecie wykorzystuje ten właśnie standard [1, 10]. Użytkownik mając bezpośrednio do czynienia lub wszędzie na około słysząc o sieciach Ethernet, chętniej korzysta z rozwiązania popularnego niż z czegoś, co jest droższe i nieznanie powszechnie.

Obecnie wielu producentów wyposaża swoje urządzenia w interfejsy sieci Ethernet. Często interfejs taki stanowi podstawowe łącze komunikacyjne dla systemów przemysłowych budowanych na podstawie tych urządzeń. Istnieje również szereg rozwiązań wykorzystujących standard Ethernet do realizacji specjalizowanych sieci komunikacyjnych przeznaczonych dla rozwiązań przemysłowych. Są to na przykład:

- Industrial Ethernet firmy Siemens,
- Ethway firmy Schneider,
- Etherbus firmy Hirschmann.

Specyfikacje takich rozwiązań są przeważnie niedostępne, a zatem użytkownik niewiele wie na temat obsługi informacji w jego systemie. Stosowanie Ethernetu odbywa się często na zasadzie domyślnego założenia, iż „szybka sieć musi działać”.

Niezbędna staje się zatem analiza tych aspektów pracy sieci Ethernet, które są istotne dla pracy w środowisku systemów przemysłowych. Chodzi tu przede wszystkim o czas obsługi informacji w warstwie komunikacyjnej, abstrahując od rodzaju protokołu pracującego w warstwach wyższych oraz zakładając, iż warstwy te nie wnoszą mechanizmów kontrolujących dostęp do medium (rys. 1).



Rys. 1. System sieciowy M abonentów na bazie Ethernetu bez deterministycznej kontroli dostępu do medium

Fig. 1. The network system of M subscribers based on the Ethernet without deterministic access control of medium

Sieci przemysłowe, czyli takie, które obsługują wymiany informacji na najniższym poziomie obsługi procesu, muszą bazować na protokołach spełniających warunki determinizmu czasowego. Istnieją dwa typy determinizmu czasowego:

– determinizm określony ściśle:

$$T_R = T_Z + T_G,$$

– determinizm określony granicznie:

$$T_R \leq T_Z + T_G,$$

gdzie:

T_R – czas wystąpienia reakcji na inicjujące zdarzenie Z (wartość bezwzględna),

T_Z – czas wystąpienia inicjującego zdarzenia Z (wartość bezwzględna),

T_G – czas graniczny reakcji na zdarzenie Z (wartość względna od czasu T_Z).

Sieci przemysłowe przypadku ścisłego determinizmu nie spełniają. Należy koncentrować się zatem tylko i wyłącznie na przypadkach sieci, w których protokół zapewnia co najwyżej determinizm czasowy graniczny, czyli analizować transakcje z punktu widzenia najgorszego przypadku:

$$T_{P_{MIN}} \leq T_P \leq T_{P_{MAX}},$$

gdzie T_P – oznacza przedział czasu pomiędzy kolejnymi wymianami danej zmiennej.

Jeżeli dla n transakcji istnieje takie i , gdzie:

$$T_{P_i} = \infty, \\ 0 < i \leq n$$

wówczas otrzymujemy przypadek, w którym:

$$T_{P_{MAX}} = \infty,$$

czyli przypadek sieci niedeterministycznej, gdzie może zaistnieć utrata pakietu.

W sieci Ethernet, ze względu na zastosowany mechanizm wykrywania i rozstrzygania kolizji CSMA/CD, należy przyjąć, że przypadek taki zachodzi podczas utraty pakietu.

2. Uwarunkowania pracy sieci ETHERNET

Ethernet dopuszcza możliwość utraty pakietu z pewnym prawdopodobieństwem. Utrata pakietu ma miejsce, gdy podczas transmisji z wykorzystaniem CSMA/CD nie uzyskano dostępu do łącza. Przy sprawiedliwym losowaniu czasów oczekiwania sytuacja taka nie powinna mieć miejsca, jednak nie wszystkie karty sieciowe działają na równych prawach. Praktyka i pomiary pokazują [5], że niektóre adresy sieciowe są preferowane przy rozstrzyganiu kolizji. Podobnie nowsze i szybsze modele kart sieciowych działają efektywniej niż modele starsze z wolniejszymi procesorami, częściej wygrywając pojedynki o dostęp do medium. Powszechnie występuje zjawisko monopolizacji łącza. Dzieje się tak wówczas, gdy dany interfejs sieciowy przegra rywalizację o dostęp z innym interfejsem. Generowana wartość czasu oczekiwania dla danej stacji jest wprost proporcjonalna do licznika kolizji tej stacji. Zatem im więcej kolizji, tym dłużej interfejs sieciowy będzie czekał na ponownie próby transmisji pakietu.

Dokładne zamodelowanie pracy sieci jest trudne, a z punktu widzenia oceny przydatności dla systemów deterministycznych zbędne. Dla potrzeb rozważań wykorzystania Ethernetu w systemach przemysłowych można założyć, iż mechanizm dostępu konkurencyjnego w sieci Ethernet działa sprawiedliwie, czyli rozkład czasu oczekiwania na dostęp do łącza w danym segmencie sieci jest taki sam dla wszystkich abonentów.

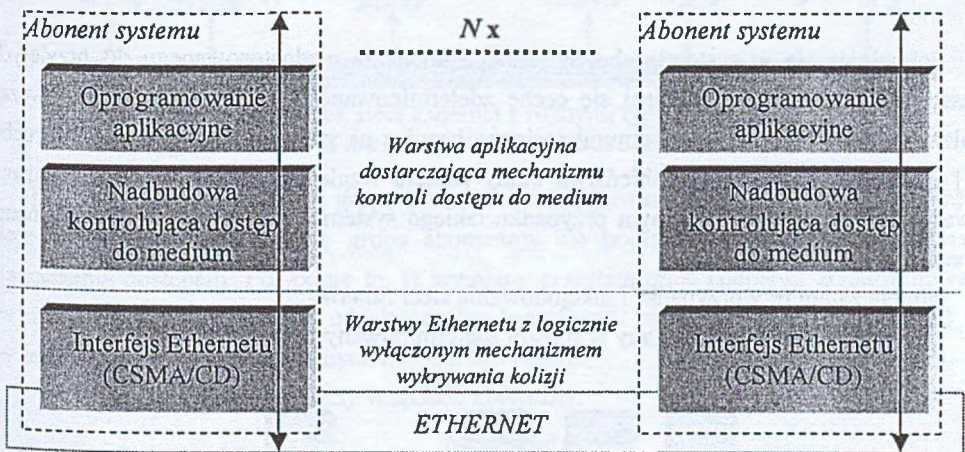
Przydatność sieci Ethernet z punktu widzenia systemów czasu rzeczywistego jest ograniczona. Pomimo dość skutecznego mechanizmu wykrywania i rozwiązywania kolizji oraz znaczącej prędkości transmisji jest to sieć, w której wymiany obsługiwane są w sposób niedeterministyczny. Ethernet wraz z protokołami pracującymi w warstwach wyższych, które nie umożliwiają uzyskania zdeterminowanego dostępu do łącza, można stosować tylko dla systemów nie wymagających ścisłych zależności czasowych lub z założeniem określonego poziomu ufności w odniesieniu do całego protokołu.

Polepszanie parametrów transmisji przez stosowanie szybszych standardów Ethernetu nie zmienia uwarunkowań pracy i nie wnosi mechanizmów determinizmu czasowego. Zatem z punktu widzenia zastosowań w systemach przemysłowych szybki Ethernet nadal nie gwarantuje obsługi informacji w czasie rzeczywistym.

3. Determinizm czasowy wymian w sieci ETHERNET

Z punktu widzenia determinizmu czasowego wymian Ethernet nie wnosi warstw umożliwiających kontrolowanie dostępu do medium. Rozwiązania takie są jednak możliwe przez tworzenie warstw dodatkowych (rys. 2) w postaci nadbudowy aplikacyjnej sterującej wymianami w taki sposób, aby dostęp do medium był synchronizowany względem scenariusza wymian [8] związanego z pracą danego systemu lokalnego.

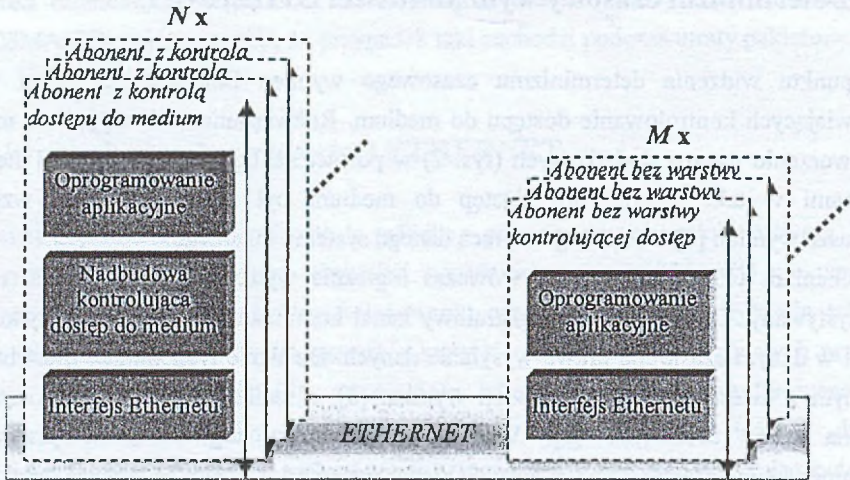
Mechanizm CSMA/CD zostaje wówczas logicznie wyłączony i praktycznie nie jest wykorzystywany. Otrzymuje się magistralowy kanał komunikacyjny, w którym tylko jeden abonent w danym czasie ma prawo wysyłania danych. Działanie tych warstw musi bazować na jednym z deterministycznych modeli wymian [8], a realizacja tych wymian musi być określona przez scenariusz [8]. Warstwy takie mogą zagwarantować pracę łącza zdeterminowaną w czasie, o ile wszyscy abonenci systemu lokalnego będą posiadać tak samo działającą nadbudowę.



Rys. 2. System sieciowy N abonentów na bazie Ethernetu z warstwą kontrolującą dostęp do medium

Fig. 2. The network system of N subscribers based on Ethernet with layer of access control of medium

Przypadek, że wszyscy abonenci mają jednakowo działające warstwy nadbudowy, stanowi przypadek komfortowy. W praktyce nie każdego abonenta można przystosować do pracy zgodnej z przyjętymi zasadami zarządzania dostępem. Na rysunku 3 przedstawiono system z N abonentami posiadającymi warstwy kontrolujące dostęp do medium oraz M abonentów nie posiadających takich warstw.

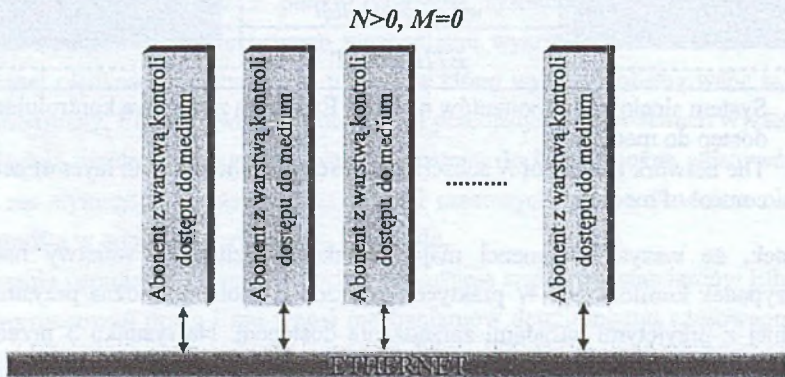


Rys. 3. System kontrolny z mieszanym dostępem do medium
Fig. 3. The control system with medium's mixed type of access

Pojawienie się w systemie choćby jednego abonenta niedostosowanego do przyjętych zasad ($M > 0$) powoduje, że traci się cechę zdeterminowanej realizacji wymian. Wówczas należy oceniać pracę kanału komunikacyjnego bazując na szacowaniu intensywności ruchu [7] i szacowaniu prawdopodobieństwa utraty pakietu względem przyjętego kryterium, np. awaryjności sprzętu. W skrajnym przypadku takiego systemu $N=0$, czyli wszyscy abonenci pracują w sposób klasyczny.

Istnieją zatem trzy przypadki funkcjonowania sieci Ethernet:

1. Sieć realizuje wymiany w sposób zdeterminowany czasowo.

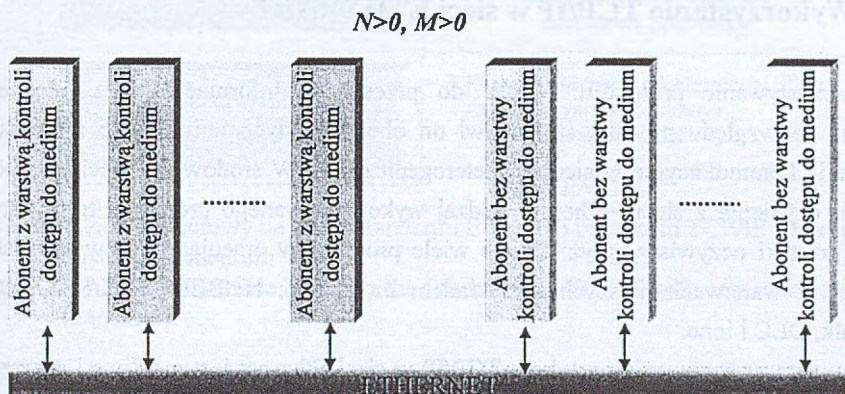


Rys. 4. Przypadek sieci Ethernet z abonentami posiadającymi warstwę kontrolującą dostęp do medium

Fig. 4. The Ethernet network and subscribers with layer of access control

W przypadku tym wszyscy abonenci posiadają specjalne warstwy aplikacyjne umożliwiające zarządzanie dostępem do medium komunikacyjnego. Oznacza to, że w warstwach interfejsów komunikacyjnych wszystkich abonentów został zaimplementowany mechanizm powodujący, iż w danym momencie czasu jeden i tylko jeden abonent ma dostęp do wysyłania informacji na medium.

2. Sieć realizuje wymiany w sposób niezdeterminowany czasowo.

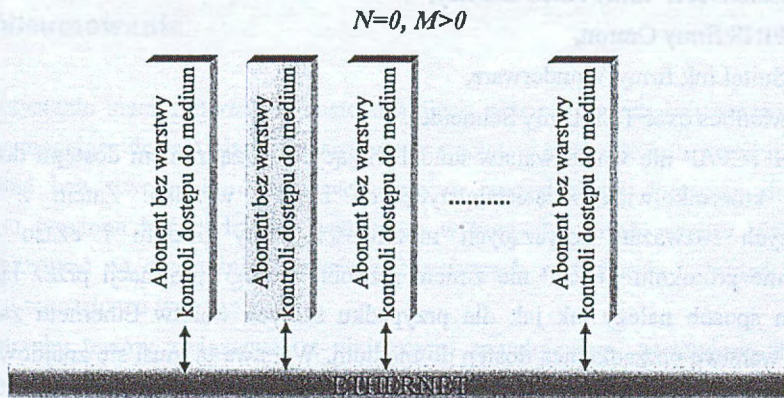


Rys. 5. Przypadek sieci Ethernet z różnymi typami abonentów

Fig. 5. A case of the Ethernet with various subscribers' type

Dla tego przypadku istnieje grupa abonentów działająca tak jak w przypadku pierwszym, lecz oprócz nich znajduje się grupa abonentów nie podlegająca działaniu mechanizmu zarządzania dostępem. Powoduje to, iż wymiany przestają mieć charakter zdeterminowany w czasie. Pakiety pochodzące od abonentów bez warstw nadzorczych mogą pojawiać się w dowolnych i nieprzewidywalnych momentach czasu.

3. Sieć realizuje wymiany w sposób klasyczny.



Rys. 6. Klasyczny przypadek pracy sieci Ethernet

Fig. 6. A classical case of the Ethernet activity

Przypadek, gdy $N=0$, stanowi typowe rozwiązanie komunikacyjne z wykorzystaniem standardowych mechanizmów sieci Ethernet. Ze względu na występowanie kolizji i działanie mechanizmu CSMA/CD przypadek taki należy traktować jako nie gwarantujący dostarczenia danych w sposób zdeterminowany czasowo.

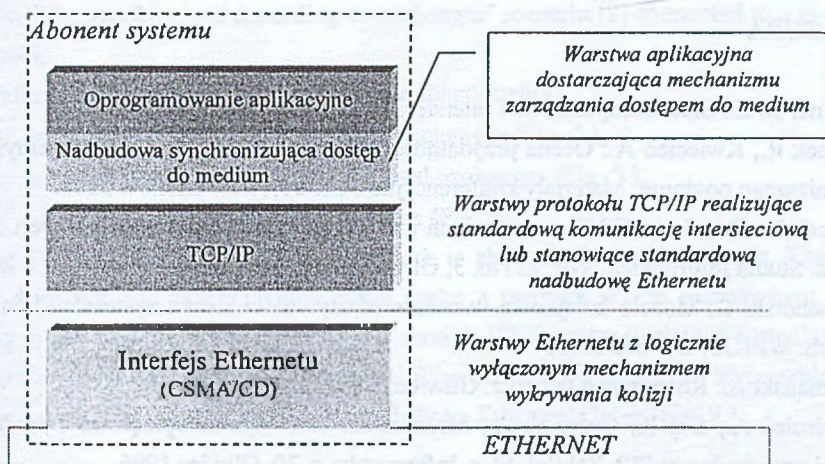
4. Wykorzystanie TCP/IP w sieci ETHERNET

Wykorzystywanie protokołu TCP/IP do przesyłania informacji przez inter sieć jest oczywiste ze względu na fakt, iż stanowi on obecnie jedyne uniwersalne i standardowe rozwiązanie komunikacyjne w sieciach heterogenicznych. W środowisku sieci lokalnej, gdy mamy do czynienia z siecią Ethernet, rodzaj wykorzystywanego protokołu transportowego nie jest już taki oczywisty, gdyż istnieje wiele protokołów pracujących z wykorzystaniem Ethernetu w warstwach niższych. Przykładem mogą być: NetBEUI, IPX/SPX/NetBIOS, AppleTalk, DLC i inne.

Mimo tego zastosowanie protokołu TCP/IP w sieci Ethernet jest możliwe i powszechnie stosowane. Decydują o tym głównie aspekty powszechności, popularności i dobrej standaryzacji protokołów TCP/IP. Obecnie istnieje szereg firmowych rozwiązań protokołów opartych na TCP/IP do zastosowań w systemach przemysłowych. Ich specyfikacja przeważnie nie jest publikowana, a producenci szafują sloganami o przesyłach danych przez Internet w czasie rzeczywistym. Poniżej przedstawiono kilka przykładowych nazw protokołów komercyjnych:

- SRTP firmy Alstom/GE Fanuc,
- MELSEC firmy Mitsubishi,
- EtherNet/IP firmy Allen-Bradley,
- FINS firmy Omron,
- SuiteLink firmy Wonderware,
- Modbus over TCP firmy Schneider.

Protokół TCP/IP nie wnosi warstw umożliwiających zarządzaniem dostępem do medium zgodnie z którymkolwiek z deterministycznych modeli wymian. Zatem z poziomu wcześniejszych rozważań dotyczących możliwości utraty pakietu i czasu opóźnień wprowadzenie protokołu TCP/IP nie zmienia sposobu obsługi informacji przez łącze. Aby zmienić ten sposób należy tak jak dla przypadku samych warstw Ethernetu zastosować dodatkową warstwę porządkującą dostęp do medium. Warstwa ta musi się znajdować ponad warstwami Ethernetu (rys. 7).



Rys. 7. Interfejs sieciowy na bazie standardu Ethernet i protokołu TCP/IP z kontrolą dostępu do medium

Fig. 7. A network interface based on the Ethernet and TCP/IP with access control to medium

Najlepszą lokalizacją dla implementacji tej warstwy jest warstwa aplikacji według modelu ISO/OSI. Na sposób działania warstwy zarządzającej nie ma wpływu fakt obecności protokołu TCP/IP. Jedynym wymogiem sposobu funkcjonowania warstwy nadrzędnej jest konieczność implementacji zgodnej z jednym z trzech deterministycznych modeli wymian lub zgodnej z dowolną mutacją tych modeli, gwarantującą deterministyczną kontrolę wymian. Wybór konkretnego modelu jest sprawą wtórną i nie ma znaczenia z punktu widzenia zapewnienia determinizmu. Jednak ma wpływ na uzyskiwane parametry sprawności i przepustowości sieci.

5. Podsumowanie

Wykorzystanie sieci Ethernet w zastosowaniach przemysłowych jest możliwe. Jednak systemy wymagające determinizmu czasowego w sieciowej obsłudze informacji nie powinny jej stosować bez stworzenia dodatkowej warstwy zarządzającej dostępem do medium. Warstwa ta powinna być nadrzędna względem wykorzystywanych warstw ISO/OSI oraz powinna bazować na deterministycznych mechanizmach zarządzania kolejnością wymian opartych na scenariuszu wymian [9].

Na potrzeby testów związanych z niniejszymi zagadnieniami zestawiono interfejs na bazie standardu Ethernet, protokołu transportowego UDP oraz nadbudowy bazującej na modelu wymian PDC [8]. Zestawienie takie stanowi rozwiązanie tanie, uniwersalne i gwarantujące uzyskanie najlepszych wartości sprawności i przepustowości użytecznej [9].

LITERATURA

1. Comer D. E.: Sieci komputerowe i intersieci. WNT, Warszawa 2001.
2. Cupek R., Kwiecień A.: Ocena przydatności protokołu TCP/IP dla sieci przemysłowych najniższego poziomu. Materiały konferencyjne SCR'01, AGH Kraków 2001.
3. Cupek R.: Protokół TCP/IP w systemach wizualizacji procesów przemysłowych. ZN Pol. Śl. s. Studia Informatica, Vol. 22 No. 3, Gliwice 2001.
4. Czachórski T.: Modele kolejkowe w ocenie efektywności sieci i systemów komputerowych. WPKJS, Gliwice 1999.
5. Domański A.: Rozprawa doktorska. Gliwice 2003.
6. Kwiecień A., Gaj P., Grzywak A., Mrówka Z.: Rozwiązania sprzętowe i programowe sieci przemysłowej FIP. ZN Pol. Śl. s. Informatyka z. 30, Gliwice 1996.
7. Kwiecień A., Gaj P.: Dobór protokołów w sieciach przemysłowych. ZN Pol. Śl. s. Studia Informatica Vol. 22 No 3, Gliwice 2001.
8. Kwiecień A., Gaj P.: Sieć FIP, wstęp do analizy czasowej. ZN Pol. Śl. s. Informatyka z. 28, Gliwice 1995.
9. Kwiecień A.: Analiza przepływu informacji w komputerowych sieciach przemysłowych. ZN Pol. Śl. s. Studia Informatica Vol. 23, No 1, Gliwice 2002.
10. Wolisz A.: Podstawy Sieci Komputerowych tom 1. WNT, Warszawa 1990, 1992.

Recenzent: Dr inż. Włodzimierz Boroń

Wpłynęło do Redakcji 1 kwietnia 2003 r.

Abstract

Nowadays all over the world there is a strong trend to use Ethernet connectivity in local connections of distributed industrial systems.

Industrial networks, which serve information exchanges on the lowest level of a process service, should be based upon time determining protocols. Ethernet admits the possibility of packet's loss with certain probability. The Ethernet usefulness is limited from real time systems' point of view. The improvement of transmission parameters realized by using faster Ethernet standard does not change work conditions and does not add time determining mechanisms. The time determining solutions are realized by creating additional layer (Fig. 2.) as application superstructure, which controls exchanges in such a way, that the access to the

medium will be synchronised according to exchanges' scenario [8] connected to a given local system work.

Therefore, there are three cases of Ethernet functionality:

- network realizes time determined exchanges (Fig. 4.),
- network realizes not time determined exchanges (Fig. 5.),
- network realizes classical exchanges (Fig. 6.).

Using TCP/IP protocol in Ethernet network is also possible and common. The TCP/IP protocol does not add layers, which could make a medium access management possible according to any of deterministic exchanges' models [8]. In order to change a medium access manner it should be used, just like in classical Ethernet case, an additional layer, which orders a medium access. This layer should be placed above Ethernet's layer (Fig. 7.).

Adresy

Piotr GAJ: Politechnika Śląska, Instytut Informatyki, ul. Akademicka 16, 44-101 Gliwice, Polska, pgaj@top.iinf.polsl.gliwice.pl.

Józef OBER: Instytut Informatyki Teoretycznej i Stosowanej PAN, ul. Bałtycka 5, 44-100 Gliwice, Polska, jober@top.iinf.polsl.gliwice.pl.