

Krzysztof NOWICKI

Politechnika Gdańska, Wydział Elektroniki, Telekomunikacji i Informatyki

WYKORZYSTANIE TECHNOLOGII ETHERNET POZA SIECIAMI LOKALNYMI

Streszczenie. W referacie opisano próby implementacji protokołu Ethernet nie tylko w sieciach lokalnych, ale również w sieciach dostępowych (Ethernet pierwszej/ostatniej mili – EFM) i rozległych (10 Gigabit Ethernet – 10GE). Proponowane rozwiązanie EFM może się stać tanim szerokopasmowym alternatywnym rozwiązaniem dla DSL i modemów kablowych. Z kolei 10GE może być alternatywą lub uzupełnieniem zastosowań OC-192 SONET.

IMPLEMENTATION OF ETHERNET TECHNOLOGY NOT ONLY IN LOCAL AREA NETWORKS

Summary. In the paper some technical aspects leading to the conclusions that Ethernet protocols can soon dominate the market of not only LANs but also access and wide networks have been presented. This paper describes two proposals of new Ethernet standards: EFM and 10GE. The EFM could be deployed as a low-cost broadband alternative to DSL and cable modem. 10GE nodes can easily interconnect with OC-192 SONET networks.

1. Wstęp

Z roku na rok zwiększa się dominacja technologii Ethernet na rynku sieci lokalnych. Świadczy o tym, sięgająca już miliarda, liczba wykorzystywanych portów ethernetowych. Wraz ze wzrostem szybkości pracy Ethernetu, dzięki masowości produkcji cena produktów typu Ethernet szybko maleje. Szacuje się, że ponad 90% ruchu w Internecie ma swoje źródło lub ujście w lokalnych sieciach typu Ethernet. Z kolei dostęp użytkowników do Internetu i realizacja przekazów danych w Internecie oparte są na zupełnie innych technologiach

(takich jak DSL, ATM, Frame Relay czy też SDH/SONET). W sieciach rozległych, ze względu na różnorodność występujących rozwiązań protokołowych oraz konieczność współpracy z sieciami lokalnymi istnieje potrzeba stosowania tradycyjnych routerów wieloprotokołowych sterowanych programowo. Są one źródłem znacznych opóźnień, dodatkowych kosztów, tworzą istotne bariery wydajności sieci. Dodatkową wadą tego rodzaju skomplikowanych systemów jest konieczność ich obsługi przez wysoko kwalifikowaną kadrę posiadającą wiedzę z zakresu, tak odmiennych obecnie, technologii sieci lokalnych i rozległych. Technologiczne różnice znacznie ograniczają więc możliwości efektywnej pracy użytkownika sieci.

Wykonanie zarówno sieci transportowej, jak i dostępowej w jednym standardzie pozwoliłoby na stworzenie infrastruktury łatwiejszej w zarządzaniu i utrzymaniu oraz zapewne bardziej wydajnej. Rolę takiego wspólnego standardu dla wszystkich sieci miał spełnić ATM. Okazał się on jednak rozwiązaniem zbyt skomplikowanym i droгим (w szczególności dla tworzenia sieci lokalnych).

Oczywiście, projektowania sieci LAN/MAN/WAN nie można oprzeć tylko na protokołach warstw niższych (łącza danych i fizycznej). Decydujące znaczenie ma tutaj przyjęcie określonych rozwiązań warstw wyższych. Wydaje się, że protokół IP został już powszechnie zaakceptowany jako standard dla warstwy trzeciej. Zatem przy ewentualnej próbie ujednoczenia protokołów warstw niższych należy zapewnić łatwość i efektywność ich współpracy z protokołami IP (IPv4 i IPv6).

Z naszych rozważań wynika, że jeżeli użytkownik chciałby mieć szybki, efektywny i tani dostęp do sieci/Internetu, to powinno nastąpić technologiczne ujednoczenie sieci lokalnych, dostępowych i rozległych. Taki też cel przyświeca gremiom standaryzacyjnym proponującym nowe rozwiązania zarówno w dostępie do sieci jak i transmisji danych w sieciach rozległych. Zmierzają one do globalnego i totalnego wykorzystania technologii ethernetowych zarówno w realizacji tzw. ostatniej mili (obecnie zdominowanej przez modemy i operatorów telekomunikacyjnych), jak i sieci łączących sieci lokalne (tzw. sieci MAN i WAN).

Nowe propozycje rozwiązań sieciowych: EFM (Ethernet dla pierwszej mili) oraz 10 Gigabit Ethernet mogą zrewolucjonizować pracę użytkowników w i z Internetem. W powstałej koncepcji "Ethernet wszędzie" (Ethernet end-to-end) realizacji globalnej sieci jedynym implementowanym w warstwie drugiej protokołem jest Ethernet, dobrze wspierający protokoły IP. Przy realizacji sieci rozległych wymagane jest wykorzystanie określonych protokołów routingu. Nie kłóci się to jednak z koncepcją „Ethernet end-to-end”, gdyż funkcje routingu są realizowane w sposób sprzętowy (z prędkością łącza) przez ethernetowe przełączniki routujące warstw wyższych. Warto tutaj nadmienić, że te inteligentne przełączniki routujące powinny być stosowane na wszystkich poziomach sieci

(w tym także w warstwie dostępowej), gdyż tylko wtedy można zbudować sieć w pełni zarządzalną.

Konsekwencje jednorodności rozwiązań sieciowych dla użytkowników sieci lokalnych i Internetu mogą być wielorakie: z jednej strony będzie to możliwość użytkowania jednego, taniego interfejsu umożliwiającego dostęp do sieci zarówno lokalnej, jak i rozległej, z drugiej zaś strony spowoduje zmniejszenie opóźnień transferu danych (w wyniku zaniechania wielokrotnych przeliczeń sum kontrolnych, zmian formatu i enkapsulacji ramek) oraz spowoduje uproszczenie zarządzania sieciami.

Oczywiście, istotna jest również możliwość wykorzystania zbudowanych już sieci SDH i ATM. Infrastruktura oparta na Ethernetie powinna więc współpracować z istniejącymi urządzeniami transportowymi/szkieletowymi (SDH/STM) oraz dostępowymi (T1/3, E1/3). Rozwiązania powinny być na tyle uniwersalne, by umożliwić dostęp po kablach optycznych i miedzianych oraz po kablach telefonicznych. By poważnie konkurować z SDH i ATM, trzeba też zapewnić w całej sieci (end-to-end) gwarantowany poziom jakości usług (QoS).

Warto tutaj podkreślić, że w ostatnich latach nastąpiło pewne zawężenie pojęcia Ethernet. O ile kilka lat temu przez to pojęcie rozumiano zarówno specyficzną metodę dostępu do medium (CSMA/CD), jak i ściśle określone długości (minimalne i maksymalne) oraz formaty ramek, to obecnie o „ethernetowości” świadczy przede wszystkim rozmiar ramek.

Od chwili, gdy sieci komputerowe buduje się na bazie pełnego duplexu i przełączania, zasięgi transmisyjne poszczególnych rozwiązań sieciowych nie zależą w zasadzie od protokołu sieciowego, a jedynie od użytego sprzętu transmisyjnego. Istniejące, wbudowane w sprzęt ethernetowy urządzenia transmisyjne pozwalają dziś na budowę sieci o porównywalnych do innych urządzeń rozmiarach segmentów (nawet 100 km).

W referacie przedstawiono nowe propozycje rozwiązań typu Ethernet spełniające ww. postulaty ujednoczenia protokołów warstw niższych: Ethernet in the First Mile (EFM) oraz 10 Gigabit Ethernet (10 Gb/s Ethernet – 10GE). Są to rozwiązania, które w najbliższym czasie staną się zapewne standardami komitetu IEEE 802.

2. 10 Gigabit Ethernet

Opracowując założenia standardu 10GE uwzględniono, iż w odróżnieniu od dotychczasowej praktyki wdrażania sieci ethernetowych, na sieci gigabitowe oczekują nie tylko projektanci sieci lokalnych, ale również projektanci sieci metropolitalnych (MAN), przedsiębiorstwa korzystające z szybkich połączeń WAN oraz firmy świadczące usługi sieciowe i zapewniające dostęp do Internetu.

Z punktu widzenia użytkowników sieci lokalnej nic nie stoi na przeszkodzie, by szybkość transmisji wynosiła dokładnie 10 Gb/s. Warto tutaj jednak przypomnieć, że szybkość pracy łącza SONET standardu OC-192 wynosi 9,58464 Gb/s. A technologia SONET (jej europejski odpowiednik to SDH) – używana do transmisji danych w postaci ramek, przez łącza WAN, zbudowane ze światłowodów – jest szeroko stosowana przez firmy telekomunikacyjne. Jeżeli obie szybkości będą takie same (łącza OC-192 i 10 Gigabit Ethernet), to sprzęt używany do konwersji sygnałów wymienianych między środowiskami SONET i Ethernet będzie zarówno łatwy w obsłudze, jak i tani. Jednocześnie taka sama szybkość transmisji w obu środowiskach pozwoli na łatwiejszy sposób zarządzania, gdyż będzie można sieci lokalne i sprzęgające je połączenia traktować jako jedno spójne środowisko sieciowe.

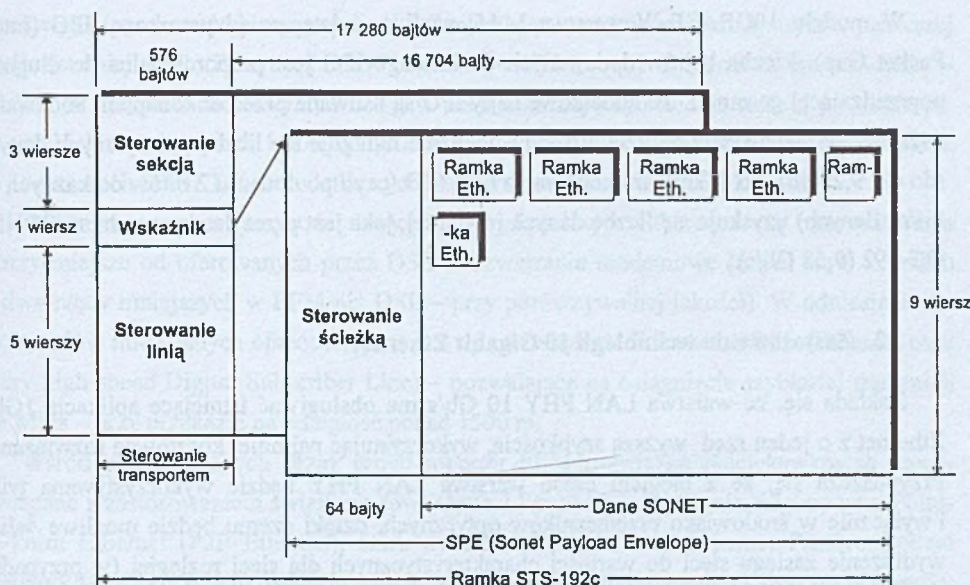
2.1. Architektura 10 Gigabit Ethernet

Rozwiązania proponowane w 10 Gigabit Ethernet pozostają zgodne z dotychczas realizowanymi odmianami Ethernetu. Jedynym poważnym odstępstwem od poprzednich wersji jest fakt, że 10GE będzie pracował jedynie w trybie pełnodupleksowym (ang. full-duplex) i będzie wykorzystywał tylko media optyczne.

Warstwa fizyczna Ethernet (ang. PHY), odpowiadająca warstwie pierwszej modelu OSI, łączy medium (optyczne lub miedziane) z podwarstwą MAC. Warstwa fizyczna dzieli się dalej na podwarstwy PMD (ang. Physical Media Dependent), PMA (ang. Physical Medium Attachment) oraz PCS (ang. Physical Coding Sublayer).

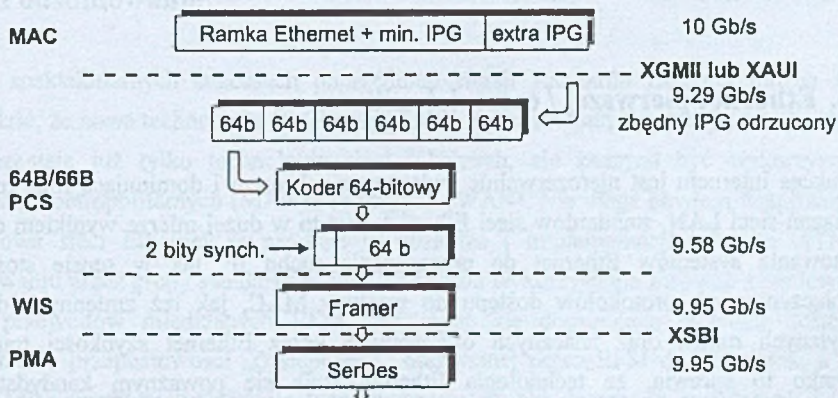
Nowością w standardzie 10 Gigabit Ethernet jest także zdefiniowanie dwóch rodzajów interfejsów warstwy fizycznej: LAN PHY oraz WAN PHY. Interfejsy te różnią się między sobą rozwiązaniem podwarstwy PCS. Interfejs WAN PHY realizuje, w porównaniu z interfejsem LAN PHY, kilka dodatkowych funkcji, dzięki którym dane 10 Gigabit Ethernet mogą być transmitowane w transparentny sposób przez infrastruktury sieciowe oparte na technologii SONET/SDH. Zarówno warstwa LAN PHY, jak i WAN PHY będą korzystały z tych samych interfejsów PMD, co oznacza, że będą one mogły obsługiwać „te same zasięgi”. Warstwa WAN PHY różni się od LAN PHY dodatkowym układem – tzw. „*framerem*” - zwanym interfejsem podwarstwy WAN (WAN Interface Sublayer – WIS), którego zadaniem jest tworzenie ramek SONET/SDH. Sposób, w jaki ramki Ethernet umieszczane są w ramach SONET/SDH, pokazany został na rys. 1.

Aby zapewnić możliwie najtańszą implementację WAN PHY, grupa robocza 802.3ae odrzuciła konieczność gwarantowania takich parametrów sieci SONET/SDH jak *stratum clock*, *jitter* czy też zgodność z innymi specyfikacjami warstwy fizycznej.



Rys. 1. Ramki 10 Gigabit Ethernet przesyłane w ramach SONET
 Fig. 1. WAN PHY encapsulation

W standardzie 10 Gigabit Ethernet zaproponowano dwa rozwiązania warstwy fizycznej: szeregowe i równoległe. Rozwiązanie szeregowe oparte jest na jednym szybko pracującym bloku 10 Gb/s (składającym się z podwarstw PCS, PMA i PMD), podczas gdy w rozwiązaniu równoległym korzysta się z wielu takich bloków, z których każdy pracuje z mniejszą szybkością niż docelowa 10 Gb/s. Przykładowy schemat blokowy rozwiązania szeregowego, tzw. 10GBASE-W (z podwarstwą WIS) przedstawiono na rys. 2.



Rys. 2. Implementacja szeregowa 10GBASE-W
 Fig. 2. Implementation of 10GBASE-W

W modelu 10GBASE-W warstwa MAC wydłuża odstęp międzyramkowy IPG (Inter-Packet Gap). Liczba bajtów dodawanych do każdego IPG jest proporcjonalna do długości poprzedzającej go ramki. Te dodatkowe bajty IPG są usuwane przed dokonaniem kodowania 64B/66B w warstwie PCS, dzięki czemu wyraźnie redukuje się liczbę przesyłanych danych (do ok. 9,29Gb). Po dokonaniu kodowania 64B/66B (czyli po dodaniu 2 bitów do każdego 64 bitów danych) uzyskuje się liczbę danych równą tej, jaka jest przesyłana przez łącze SONET OC-192 (9,58 Gb/s).

2.2. Zastosowania technologii 10 Gigabit Ethernet

Zakłada się, że warstwa LAN PHY 10 Gb/s ma obsługiwać istniejące aplikacje 1Gb/s Ethernet z o jeden rząd wyższą szybkością, wykorzystując najmniej kosztowne rozwiązania. Przypuszcza się, że z biegiem czasu warstwa LAN PHY będzie wykorzystywana tylko i wyłącznie w środowisku przełączników optycznych, dzięki czemu będzie możliwe dalsze wydłużenie zasięgu sieci do wartości charakterystycznych dla sieci rozległej (w przypadku wykorzystywania światłowodu jednomodowego odległość, na którą można przesyłać dane wynosi aż 40 km, a nie 5 km, jak to było w przypadku 1Gb/s Ethernet).

Warstwa WAN PHY umożliwia przyłączenie urządzeń i routerów do sieci SONET/SDH lub innych sieci optycznych. Dzięki temu łącza Ethernet mogą być rozszerzone na sieciach SONET/SDH lub innych sieciach optycznych, a ramki ethernetowe mogą być przesyłane na bardzo duże odległości. Warto tutaj zauważyć, że sieci SONET/SDH korzystają ze zsynchronizowanych zegarów o wysokiej dokładności. Z kolei interfejs WAN PHY 10 Gigabit Ethernet pracuje tak jak inne asynchroniczne interfejsy sieciowe. Interfejs WAN PHY nie obsługuje zaawansowanych opcji sieci SONET/SDH, za to obsługuje standard IEEE 802.3ad – agregacji łącza.

3. Ethernet pierwszej / ostatniej mili

Sukces Internetu jest nierozdzielnie związany z sukcesem i dominującą rolą, na rynku rozwiązań sieci LAN, standardów sieci Ethernet. Jest to w dużej mierze wynikiem dobrego dopasowania systemów Ethernet do przenoszenia ruchu IP, tak w sensie stosowania bezpołączeniowych protokołów dostępu do warstwy MAC, jak też zmiennych długości przesyłanych ramek oraz znacznych oferowanych przez Ethernet szybkości transmisji. Wszystko to sprawia, że technologia Ethernet staje się poważnym kandydatem do zastosowania w warstwie łącza danych także i w sieciach rozległych – WAN. Duże zainteresowanie towarzyszy również wykorzystaniu rozwiązań typu Ethernet w instalacjach

domowych i systemach dostępowych, określanych równoważnie mianem systemów pierwszej bądź ostatniej mili (Ethernet-in-the-First-Mile – EFM, bądź Ethernet-in-the-Last-Mile – ELM). W przypadku rozwiązania EFM, w pełni eliminującego kolizje ramek, podobnie jak w szybkich rozwiązaniach 1/10 Gigabit Ethernet – podejmuje się próby umieszczenia ramek w kontenerach SONET (bez dodatkowych konwersji do formatu komórek ATM).

Podstawowe charakterystyki cenowe i jakościowe Ethernetu są zdecydowanie korzystniejsze od oferowanych przez DSL i rozwiązania modemowe (mówi się o kosztach o dwa rzędy mniejszych w EFM niż DSL – przy porównywalnej jakości). W odniesieniu do przewodów miedzianych opracowywane jest np. rozwiązanie EthernetoVDSL (Ethernet over Very high speed Digital Subscriber Line) – pozwalające na osiągnięcie szybkości transmisji 15 Mb/s – przy przekazie na odległość ponad 1500 m.

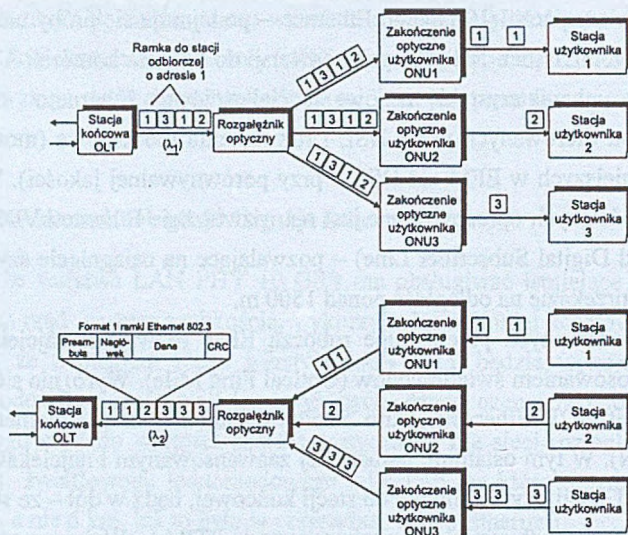
Wśród proponowanych przez grupę roboczą EFM rozwiązań najciekawsze są trzy – związane z zastosowaniem światłowódów (Optical First Mile). Wyróżnia się przy tym: Point-to-Point Ethernet (P2P Ethernet), Curb Switched Ethernet oraz Ethernet Passive Optical Network (EPON). W tym ostatnim, najbardziej zaawansowanym i najciekawszym przypadku ruch w górę – od stacji użytkowników do stacji końcowej, bądź w dół – ze stacji końcowej do stacji użytkowników, odbywa się zgodnie z metodą TDMA. Wykorzystywane w systemie nowe układy transmisyjne oraz zasady przekazu pokazano na rys. 3.

W systemie EPON, jak i pozostałych rozwiązaniach EFM zachowano format ramki Ethernet, unikając przy tym kolizji oraz ich fragmentacji (tak niepożądanych w rozwiązaniach ADSL). Rozwiązanie EPON oferuje szybkość transmisji 1 Gb/s przy zasięgu nieco ponad 10 km z użyciem światłowódów jednomodowych.

4. Podsumowanie

Po spektakularnych sukcesach poprzednich wersji standardu Ethernet można śmiało stwierdzić, że nowa technologia 10 Gb/s spotka się z powszechną akceptacją, tym bardziej że nie pozostaje już tylko technologią sieci lokalnych, ale zaczyna być wykorzystywana w sieciach metropolitarnych (MAN) i rozległych (WAN). Nie ulega bowiem wątpliwości, że gigabitowe sieci Ethernet są prostsze w obsłudze i implementacji od sieci ATM. Po opracowaniu przez grupy standaryzacyjne EFM zasad wykorzystania zarówno światłowódów, jak i przewodów miedzianych EFM stać może się dominującą techniką dostępową. Zwiększenie przepustowości „dostępowej” oferowanej przez EFM do dziesiątek, a nawet setek Mb/s, zapewni praktycznie nieograniczony, szybki dostęp do baz danych i innych (np. multimedialnych) zasobów i spowodować może w najbliższych latach gwałtowne zmiany w kierunkach rozwoju aplikacji internetowych. Warto tutaj jednak nadmienić,

że niestety aplikacje multimedialne, wymagające określonego QoS, nie są wystarczająco wspierane przez rozwiązania Ethernet, a to może spowodować konieczność wykorzystywania nadal ATM lub wyrafinowanych protokołów typu RSVP.



Rys. 3. Ilustracja zasady przekazu w dół i w górę w systemie EPON
 Fig. 3. Upstream and Downstream Traffic Flow in an EPON

LITERATURA

1. Spurgeon C.E.: Ethernet – podręcznik administratora. Wydawnictwo RM, Warszawa 2000, wydawnictwo oryginalne O'Reilly.
2. Nowicki K., Woźniak J.: Lokalne sieci komputerowe. Wydawnictwo PW, Warszawa 2002, książka przygotowywana do druku.
3. Dokumenty i artykuły dostępne na stronie IEEE poświęconej technologii 10 Gigabit Ethernet <http://grouper.ieee.org/groups/802/3/ac/index.html>
4. Dokumenty i artykuły dostępne na stronie IEEE poświęconej technologii EFM <http://grouper.ieee.org/groups/802/3/efm>
5. Prezentacje z sympozjum Network+Interop (dostępne pod adresem <http://www.10gea.org/NR-Presentations.htm>)
6. 10 Gigabit Ethernet Technology Overview White Paper – 10 Gb Ethernet Alliance, dostępne pod adresem http://www.10gea.org/10GEA_Whitepaper_0901.pdf

Recenzent: Dr inż. Mirosław Skrzewski

Wpłynęło do Redakcji 25 marca 2002 r.

Abstract

In the paper some technical aspects leading to the conclusions that Ethernet protocols can soon dominate the market of not only LANs but also wide, metro and access networks have been presented. This paper describes two proposals of new Ethernet standards: EFM (Ethernet in the First Mile) and 10GE (10 Gigabit Ethernet).

The first idea: Ethernet could become as ubiquitous and cost-effective in public carrier networks as it already is in a private networks is the driving concept behind an IEEE study group on "Ethernet in the First Mile". The EFM could be deployed as a low-cost broadband alternative to DSL and cable modem, and as replacement for SONET.

The second idea: 10 Gigabit Ethernet continues the natural evolution of Ethernet in speed and distance. Ethernet's expansion for use in metro area networks (MAN) can now be expanded yet again onto wide area networks (WAN), both in concert with SONET and also end-to-end Ethernet.

10GE offered the potential for an Ethernet solution aligned the 9.95 Gb/s rate of the OC-192 (Fig. 2). This paper describes how 10GE nodes can easily interconnect with OC-192 SONET networks with no increase in the Ethernet cost.