

Marcin KUCHARCZYK

Politechnika Śląska, Instytut Elektroniki

ALTERNATYWNE MEDIA TRANSMISYJNE – NISKONAPIĘCIOWE LINIE ENERGETYCZNE I SIECI BEZPRZEWODOWE

Streszczenie. Artykuł opisuje alternatywne rozwiązania budowy sieci komputerowych. Takie technologie, jak komunikacja przez sieci energetyczne oraz sieci bezprzewodowe, pozwalają zapewnić dostęp do Internetu bez konieczności rozbudowy infrastruktury kablowej. Poniżej opisano aktualnie używane rozwiązania oparte przede wszystkim na modulacji OFDM.

Słowa kluczowe: sieci bezprzewodowe, transmisja w sieciach energetycznych, OFDM.

ALTERNATIVE TRANSMISSION MEDIA – LOW VOLTAGE POWER LINES AND WIRELESS NETWORKS

Summary. The article describes alternative solutions of computer networks building. Technologies like Power Line Communications (PLC) and Wireless Networks enable access to Internet without cable infrastructure extension necessity. Current solutions based on OFDM modulation are described below.

Keywords: Wireless Networks, Power Line Communications, OFDM.

1. Wprowadzenie

Rozwój sieci komputerowych jest obecnie powodowany przez dwa czynniki: spełnienie wymagań dotyczących przepustowości łączy oraz zapewnienie dostępu do sieci (a szczególnie do zasobów Internetu) jak największej liczbie osób.

1.1. Przepustowość Ethernetu

Wymagania dotyczące przepustowości łączy wynikają z konieczności przesyłania coraz większych ilości danych, zarówno przez „zwykłego” użytkownika, ale przede wszystkim w środowiskach medialnych (transmisje audiowizualne) i naukowych. Przykładem mogą być symulacje zjawisk fizycznych – przewidywanie pogody czy też symulacje reakcji termojądrowych. Wymagają one bardzo dużych mocy obliczeniowych, co może zapewnić wykorzystanie połączonych w sieć komputerów (także w różnych ośrodkach obliczeniowych). Aby zadania mogły być wykonywane sprawnie, sieć łącząca musi mieć dużą przepustowość. Obecnie najpopularniejsze są sieci oparte na standardzie Ethernet i jego kolejnych rozwinięciach: Fast Ethernet, Gigabit Ethernet i 10 Gigabit Ethernet. Ostatni z nich (zatwierdzony jako standard IEEE 802.3ae) w porównaniu ze standardami typowo telekomunikacyjnymi (SDH, SONET) cechuje się prostotą budowy (przede wszystkim brakiem skomplikowanych układów synchronizacji zegarów), a więc niższymi kosztami oraz zgodnością na poziomie ramek z wolniejszymi wersjami Ethernetu. Standardy dotyczące 10 Gigabit Ethernetu obejmują nie tylko kwestie budowy sieci LAN (jak to było w przypadku Fast Ethernetu), ale także budowy sieci MAN i WAN (w tym współpracy z systemami SDH i SONET, które są wykorzystywane do transportu ramek).

Standard 10 Gigabit Ethernet pochodzi z połowy 2002 roku, dlatego nie jest jeszcze zbyt popularny. Obecnie rośnie znaczenie na rynku urządzeń standardu Gigabit Ethernet (802.11z z 1998 roku), które przy tej samej prędkości transmisji są tańsze (ok. 3-krotnie – korzystając z danych Gigabit Ethernet Alliance [6]) od rozwiązań opartych na Fast Ethernet (100 Mbit/s). Rozwiązanie takie jest opłacalne przy budowie szkieletu sieci korporacyjnej lub akademickiej, ale nie przy budowie małych sieci prywatnych. Dla tzw. „zwykłego użytkownika” Gigabit Ethernet jest zbyt drogi. Pozostaje pytanie: czy takie szerokie pasmo jest potrzebne każdemu użytkownikowi?

1.2. Wymagania użytkowe

Do przeglądania zasobów światowej pajęczyny WWW wystarcza prędkość połączenia analogowego modemu telefonicznego (przynajmniej większości stron). Pojawiają się jednak nowe usługi związane z multimediami, a szczególnie ze strumieniową transmisją danych, które mają większe wymagania. Obecne standardy kompresji (np.: MPEG4, MP3) umożliwiają przy prędkości 1 Mbit/s uzyskanie bardzo dobrej jakości przekazu audiowizualnego, a maksymalna prędkość strumienia rzadko przekracza 2 Mbit/s. Wartość tę można by uznać za minimum, jakie powinien mieć zapewnione każdy użytkownik sieci.

Pozostaje jeszcze sprawa opóźnień i utraty pakietów, ale za to odpowiedzialne są protokoły QoS, pracujące w warstwach wyższych i często będące częścią systemów operacyjnych.

Przepustowość rzędu 2 Mbit/s zapewnia nawet podstawowy standard Ethernetu (10 Mbit/s, coraz rzadziej stosowany) oraz przede wszystkim bardzo tani obecnie jego następca, czyli standard Fast Ethernet (często poniżej 100 zł/gniazdko), wydaje się więc, że budowa sieci lokalnych nie powinna sprawiać problemów. Trochę gorzej wygląda sprawa w przypadku sieci rozległych, gdzie operatorzy telekomunikacyjni zapewniają łącza dostępowe o przepustowości 2 Mbit/s w cenie przekraczającej 2000 zł.

2. Alternatywy dla Ethernetu

Mimo że urządzenia standardu Fast Ethernet są tanie, to poszukuje się innych rozwiązań budowy sieci. Jest to spowodowane przez wymagania dotyczące odpowiedniej infrastruktury: zachowanie odpowiednich rozmiarów sieci (do 100 m na odcinek, do 200 m pomiędzy urządzeniami buforującymi) oraz konieczność stosowania odpowiedniego okablowania. Budowa takiej infrastruktury często stanowi problem. Prowadzenie nowej instalacji kablowej wewnątrz budynków najczęściej oznacza zaburzenie estetyki wnętrza (instalacje na ścianach) lub duży koszt (okablowanie wmurowane). Przy prowadzeniu połączeń pomiędzy budynkami problemy są podobne – instalacja nadziemna (przewieszki) stanowi problem w kwestii prawa budowlanego i bezpieczeństwa oraz także estetyki, a instalacje podziemne – to problemy związane z uzyskaniem zezwoleń i kosztami. Rozwiązaniem może być wykorzystanie istniejącej już instalacji kablowej (najbardziej rozpowszechnione są niskonapięciowe sieci elektryczne) lub instalacji bezprzewodowej (transmisja z wykorzystaniem fal radiowych).

2.1. Transmisja danych w sieciach energetycznych

W przeciwieństwie do czteroparowej skrętki i kabla koncentrycznego okablowanie niskonapięciowej sieci elektrycznej nie ma ustalonych parametrów transmisyjnych, takich jak transmitancja i impedancja linii. Próba ich zdefiniowania prowadzi do wniosków, że zależą one od miejsca i czasu pomiaru. Na wyniki takie ma wpływ budowa sieci energetycznej (liczne odgałęzienia powodujące odbicia, różne zakończenia linii – różne odbiorniki energii lub całkowity ich brak) oraz włączanie i wyłączanie urządzeń elektrycznych. Używane okablowanie ma duże tłumienie dla wysokich częstotliwości (użyteczne pasmo sięga co najwyżej 30 MHz). Kolejny problem to poziom szumu, który jest generowany przez podłączone urządzenia (szczególnie silniki elektryczne i zasilacze impulsowe), a normy (PN EN-50065-1 z 1999 roku) ograniczają dopuszczalny poziom transmitowanego sygnału. Szum

ten maleje dla wysokich częstotliwości, ale pojawiają się wtedy zakłócenia zewnętrzne, gdyż sieć elektryczna stanowi antenę do odbioru fal radiowych.

Antena działa zawsze w dwie strony, czyli sygnał z nadajnika podłączonego do instalacji elektrycznej jest propagowany także w postaci fal radiowych i może zakłócać pracujące w tym samym paśmie nadajniki radiowe. Właśnie problem kompatybilności elektromagnetycznej (o czym warto wspomnieć na początku) stanowi największy problem w rozwoju technologii PLC (ang. Power Line Communications). Przy odpowiedniej mocy sygnału (niestety czasami wykraczającej poza dopuszczalny normą poziom $60\text{dB}\mu\text{V}$) transmisja, najlepiej w paśmie 5 – 20 MHz, przez instalacje elektryczne nie stanowi problemu technicznego.

2.1.1. Standard HomePlug 1.0

Urządzenia zgodne z tym standardem wykorzystują pasmo 4,8 – 20,4 MHz (wg specyfikacji technicznych układów firmy Intellon [4]). Standard ten został opracowany przez członków grupy przemysłowej HomePlug Powerline Alliance [5], ale jeszcze nie zatwierdzony przez organizacje standaryzujące. Do modulacji sygnału używa się modulacji OFDM, której własności pozwalają na transmisję w warunkach panujących w sieci elektrycznej [1].

Sygnał jest próbkowany z częstotliwością 50 MHz i wysyłany w postaci ramek o długości 20 – 160 symboli. Osiągalna prędkość transmisji to 14 Mbit/s. Ze 127 kanałów, jakich można użyć korzystając ze 256-punktowej FFT do transmisji wykorzystuje się 84. Dane na poszczególnych kanałach kodowane są za pomocą różnicowych modulacji DBPSK i DQPSK (umożliwia to działanie systemu bez korektorów, co stanowiło problem w momencie powstawania standardu). Zabezpieczenie przed przekłamaniami ma zapewnić kod z korekcją błędów – w standardzie używane są kody Reeda-Solomona. Dodatkowo strumień kodowany jest kodem splotowym. Jeżeli metody te zawiodą, pozostaje retransmisja ramki.

Układy zajmujące się obsługą warstwy fizycznej (przykładowo INT51X1 i INT5130 Intellona) są w stanie adaptacyjnie dopasować parametry transmisji do jakości kanału. Odbywa się to poprzez:

- wyłączenie kanałów używających najbardziej zakłóconych częstotliwości;
- wybór konstelacji na poszczególnych kanałach (DBPSK lub DQPSK);
- zmianę stopy kodu splotowego (1/2 lub 3/4).

Dostęp wielu urządzeń do kanału realizuje protokół CSMA/CA. Nadajnik wysyła sygnał, tylko kiedy ma dane do wysłania, później przechodzi w tryb odbioru. System priorytetów (4 poziomy) umożliwia realizowanie zadań związanych z QoS. Ponieważ sygnał wysłany do sieci energetycznej staje się ogólnodostępny, dane są szyfrowane na poziomie warstwy MAC przy użyciu 56-bitowego standardu DES.

2.2. Sieci bezprzewodowe

Transmisja bezprzewodowa w sieciach komputerowych stała się możliwa dzięki udostępnieniu do użytku publicznego części pasma radiowego. W większości krajów udostępniono pasmo powyżej częstotliwości 2,4 GHz, w niektórych krajach dodatkowo udostępniono jeszcze kanały powyżej 5 GHz. Normy mówią, że nadawać w tym paśmie bez dodatkowych zezwoleń mogą nadajniki małego zasięgu (czyli o ograniczonej mocy, w Polsce ≤ 100 mW (e.i.r.p.) w paśmie 2.400,0 – 2.483,5 MHz oraz ≤ 200 mW (e.i.r.p.) w paśmie 5.150 – 5.350 MHz wg „Rozporządzenia Ministra Infrastruktury z dnia 6 sierpnia 2002 w sprawie urządzeń radiowych nadawczych lub nadawczo-odbiorczych, które mogą być używane bez pozwolenia”). Warunkiem stosowania nadajników radiowych dla sieci LAN w Polsce bez dodatkowych certyfikatów jest stosowanie tylko anten dostarczanych z urządzeniem.

2.2.1. Standard 802.11b

Normy dotyczące transmisji bezprzewodowej zostały opracowane pod patronatem IEEE i oznaczone numerem 802.11. Najwięcej z obecnie używanych urządzeń Wi-Fi pracuje wg standardu 802.11b [2]. Określa on parametry dla transmisji w paśmie 2,4 GHz i definiuje 4 prędkości transmisji (od 1 do 11 Mbit/s). Niektóre firmy (D-Link, Planet) oferują dodatkowo prędkość 22 Mbit/s (modulacja PBCC) do komunikacji pomiędzy własnymi urządzeniami.

Tabela 1

Prędkości pracy urządzeń standardu 802.11b	
Prędkość	Modulacja (przed DSSS)
1 Mbps	DBPSK
2 Mbps	DQPSK
5,5 Mbps	CCK lub PBCC
11 Mbps	CCK lub PBCC

Używana przy transmisji modulacja to bezpośrednie rozpraszanie widma (DSSS – Direct Sequence Spread Spectrum). Metody modulacji sygnału przed rozpraszaniem podaje tabela 1, a odpowiednie sekwencje rozpraszające można znaleźć w normie. Rzeczywiste prędkości transmisji uzyskiwane przez urządzenia standardu 802.11b to 4 – 6 Mbit/s. Testy własne wykonane na urządzeniach D-Linka DWL-900AP+ umieszczonych blisko siebie pozwoliły osiągnąć prędkość 4,8 Mbit/s w trybie 11 Mbit/s i 6,8 Mbit/s w niestandardowym trybie 22 Mbit/s – prędkość była mierzona przy transferze plików przez protokół ftp.

Przy transmisji bezprzewodowej w paśmie 2,4 GHz (podobnie zresztą przy 5 GHz) urządzenia powinny się widzieć, aby osiągnąć dobrą jakość i prędkość transmisji. Wszelkie przeszkody zmniejszają zasięg lub powodują automatyczne przełączenie urządzeń w wolniejszy tryb pracy. Urządzenia standardu 802.11b używają do komunikacji dwóch strumieni –

oprócz strumienia danych przesyłają własne informacje służące do negocjacji parametrów połączenia. Strumień kontrolny ustawia się zazwyczaj na prędkość minimalną, gdyż transmisja w tym trybie jest najbardziej odporna na zakłócenia.

2.2.2. Standard 802.11a

Wyższe prędkości transmisji umożliwiają urządzenia pracujące zgodnie z wytycznymi standardu 802.11a [3]. Zakres częstotliwości pracy urządzeń tego standardu przesunięto do pasma 5 GHz i zmieniono modulację na OFDM (znaną z urządzeń standardu HomePlug). Urządzenia 802.11a nie są zgodne z popularnymi urządzeniami 802.11b, a ponadto pracują w paśmie, które nie wszędzie zostało udostępnione do publicznego użytku, co spowodowało, że nie zdobyły one większej popularności. Powstały modele, które obsługują obydwa standardy, ale ich cena jest zbyt wysoka – różne częstotliwości pracy oznaczają konieczność użycia dwóch układów przemiany częstotliwości i dwóch modułów nadajników-odbiorników radiowych.

Sygnal OFDM do transmisji w standardzie 802.11a wytwarzany jest przy użyciu 128-punktowej FFT. Z 63 użytecznych kanałów wykorzystuje się 52: 48 do transmisji danych i 4 do synchronizacji. Sygnal jest próbkowany z częstotliwością 40 MHz i zajmuje pasmo poniżej 20 MHz. Do korekcji błędów wykorzystuje się kod splotowy o stopie kodu 1/2, 2/3 lub 3/4 zależnie od trybu pracy. Jest to jeden z czynników wpływających na prędkość transmisji, drugim jest wielkość konstelacji, jaka jest używana do kodowania poszczególnych kanałów. Zależnie od kombinacji tych parametrów można uzyskać prędkości transmisji od 6 do 54 Mbit/s. Pełną listę prędkości definiowanych w standardzie prezentuje tabela 2 (urządzenie zgodne z normą musi obsługiwać przynajmniej prędkości 6, 12 i 24 Mbit/s).

Tabela 2

Prędkości pracy urządzeń standardu 802.11a

Prędkość [Mbit/s]	Konstelacja	Stopa kodu	Prędkość [Mbit/s]	Konstelacja	Stopa kodu
6	BPSK	1/2	24	16-QAM	1/2
9	BPSK	3/4	36	16-QAM	3/4
12	QPSK	1/2	48	64-QAM	2/3
18	QPSK	3/4	54	64-QAM	3/4

Rzeczywiste uzyskiwane prędkości transmisji przekraczają 30 Mbit/s (trzeba odjąć nadmiar związany z tworzeniem ramek). Zasięg zależy od prędkości i użytej anteny – dla urządzeń serii Aironet 1200 firmy Cisco waha się w zakresie od 30 m (54 Mbit/s) do 300 m (6 Mbit/s) w terenie otwartym (wg danych producenta).

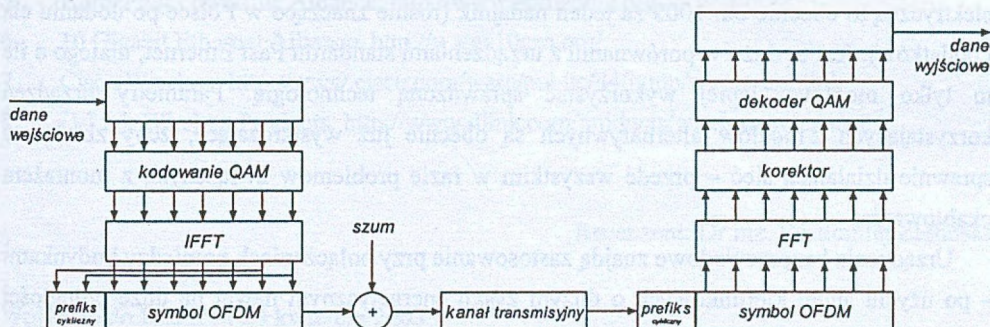
2.2.3. Standard 802.11g

Na dzisiaj (marzec 2003) istnieje tylko robocza wersja tego standardu. Publicznie dostępna wersja finalna zapowiadana jest na lipiec 2003. Standard ten ma połączyć dwa poprzednie i korzystać z pasma 2,4 GHz, będzie oferował wszystkie prędkości używane przez 802.11b i 802.11a – urządzenia będą zgodne z urządzeniami 802.11b oraz będą oferowały nowe tryby pracy, razem 12 – od 1 do 54 Mbit/s. Na rynku pojawiają się już urządzenia zgodne z wersją roboczą standardu 802.11g (D-Link AirPlus XtremeG) lub przygotowane na nowy standard (Cisco Aironet 1100 Series).

W przypadku wszystkich opisywanych standardów urządzeń bezprzewodowych prędkość transmisji dobierana jest adaptacyjnie do aktualnej charakterystyki kanału. Podobnie jak przy sieciach energetycznych istnieje tu problem „ogólnodostępności” urządzeń transmisyjnych bezprzewodowej, dlatego stosuje się szyfrowanie danych. WEP (ang. Wireless Encryption Protocol) używa kluczy od 40 do 128 bitów.

3. Modulacja OFDM

Idea modulacji OFDM jest znana już od lat 60., ale dopiero rosnąca moc obliczeniowa procesorów, sygnałowych spowodowała wzrost użytkowego znaczenia OFDM. Systemy transmisyjne danych pracujące w niekorzystnych warunkach używają tej modulacji ze względu na jej odporność na zakłócenia i możliwość uzyskiwania dużych prędkości. Modulacja OFDM stała się podstawą standardu HomePlug 1.0 dla sieci energetycznych oraz standardów 802.11a i 802.11g dla szybkich sieci bezprzewodowych.



Rys. 1. Schemat blokowy systemu transmisyjnego OFDM

Fig. 1. Block diagram of OFDM transmission system

Zasadę działania systemu transmisyjnego z modulacją OFDM prezentuje schemat blokowy na rys. 1. Układy praktyczne zawierają dodatkowo układy detekcji i korekcji błędów, mieszacze

częstotliwości (jeżeli transmisja nie odbywa się w paśmie podstawowym), układy do adaptacyjnej zmiany parametrów transmisji na każdym kanale.

Strumień danych wejściowych dzielony jest na bloki odpowiadające kanałom transmisyjnym, które są następnie kodowane – najczęściej za pomocą QAM. Powstaje w ten sposób charakterystyka częstotliwościowa nadawanego sygnału, a przebieg czasowy powstaje po IFFT. W dziedzinie częstotliwości kanały są ortogonalne względem siebie i nie zakłócają się nawzajem. Istnieje możliwość włączania/wyłączania poszczególnych kanałów w razie potrzeby oraz stosowania różnych konstelacji do kodowania kanałów (dostosowując sygnał do aktualnie panujących warunków w linii transmisyjnej). Postać czasowa sygnału uzupełniana jest o prefiks cykliczny, dzięki czemu uzyskuje się separację symboli w dziedzinie czasu. Sygnał staje się odporny na wielodrogowość kanału, o ile odpowiedź impulsowa kanału jest krótsza niż długość prefiksu.

Problemem przy modulacji OFDM jest synchronizacja – szczególnie synchronizacja ramkowa, czyli problem znalezienia początku symbolu OFDM. Stosuje się dwie metody synchronizacji: podział sygnału na ramki czasowe i dodanie dodatkowej sekwencji synchronizującej (metoda stosowana w HomePlug 1.0) lub wykorzystanie podobieństwa części symbolu i prefiksu. Dodatkowo część kanałów o symbolu OFDM przeznaczają się na dane służące tylko do synchronizacji sygnału (4 kanały w normie 802.11a).

4. Podsumowanie

Cena urządzeń do transmisji bezprzewodowej oraz transmisji przez niskonapięciową sieć elektryczną to obecnie ok. 100\$ za jeden nadajnik (rośnie znacząco w Polsce po dodaniu cła i podatków). Jest to dużo w porównaniu z urządzeniami standardu Fast Ethernet, dlatego o ile to tylko możliwe, lepiej wykorzystać sprawdzoną technologię. Parametry urządzeń korzystających z mediów alternatywnych są obecnie już wystarczające, żeby zbudować sprawnie działającą sieć – przede wszystkim w razie problemów związanych z montażem okablowania.

Urządzenia bezprzewodowe znajdują zastosowanie przy połączeniach pomiędzy budynkami – po użyciu anten kierunkowych o dużym zysku energetycznym nawet na duże odległości (wymaga to dodatkowych zezwoleń), w salach konferencyjnych czy też na terenach, takich jak uczelnie lub tereny targowe, gdzie odpowiednio rozmieszczone punkty dostępowe (Access Point) umożliwią bezproblemowy dostęp do sieci w dowolnej lokalizacji.

Urządzenia do transmisji przez sieci energetyczne (PLC) przeznaczone są przede wszystkim do użytku domowego. W przyszłości mają umożliwić realizację idei „wszystko

w jednym gniazdku” i podłączenie do globalnej sieci urządzeń gospodarstwa domowego (przestrzeń adresowa IPv6 powinna wystarczyć do ich zaadresowania).

Alternatywne urządzenia są ciągle rozwijane. Powstają nowe standardy umożliwiające coraz szybszą transmisję (IEEE 802.11g, HomePlug AV). Stanowi to szansę na rozszerzenie zasięgu sieci komputerowych (Internetu), ale potrzebne są też nowe rozwiązania dotyczące szkieletu. Zatwierdzony w połowie 2002 roku standard 10 Gigabit Ethernet zachowuje prostotę Ethernetu i zgodność z nim na poziomie ramek oraz zawiera procedury łatwego połączenie z telekomunikacyjnymi standardami transmisji – wszystko to daje realną szansę na szybki rozwój ogólnoswiatowej sieci.

LITERATURA

1. Gardner S., Markwalter B., Yonge L.: HomePlug Standard Brings Networking to the Home. *Communication System Design*, December 2000, vol. 6, no. 12.
2. IEEE Std 802.11b-1999 (Supplement to ANSI/IEEE Std 802.11, 1999 Edition). Part 11: Wireless LAN Medium Access Control (MAC) and Physical Layer (PHY) specifications: Higher-Speed Physical Layer Extension in the 2.4 GHz Band.
3. IEEE Std 802.11a-1999 (Supplement to IEEE Std 802.11-1999). Part 11: Wireless LAN Medium Access Control (MAC) and Physical Layer (PHY) specifications: High-speed Physical Layer in the 5 GHz Band.
4. Intellon PowerPacket Products. High Speed Home Powerline Networking Technology: <http://www.intellon.com/products/powerpacket/index.html>.
5. HomePlug Powerline Alliance: <http://www.homeplug.org/>.
6. 10 Gigabit Ethernet Alliance. <http://www.10gea.org/>.
7. Cisco Wireless: <http://www.cisco.com/warp/public/44/jump/wireless.shtml>.
8. D-Link Wireless Products: <http://www.dlink.com/products/wireless/index.asp>.

Recenzent: Dr inż. Bartłomiej Zieliński

Wpłynęło do Redakcji 24 kwietnia 2003 r.

Abstract

This paper describes two problems connected with expansion of computer networks and Internet. First - demand for higher bandwidth and data rates, and especially second - computer network (Internet) availability for the end user. New Ethernet technology, like Gigabit Ethernet and the latest 10 Gigabit Ethernet, resolves demand for higher bandwidth so far.

Ethernet network is not a good solution for the "last mile" problem – connection for the end user. Cost of building of the complete Ethernet infrastructure is too high (even when particular devices are cheap), so alternative transmission media are needed. Existing cable installations, like telephone network and also the most popular power line network are used. HomePlug 1.0 standard used in Power Line Communications systems is described. The next solution of the "last mile" problem is the wireless network. Two different standards (802.11b and 802.11a - both published in 1999) are used by wireless systems, and third (802.11g) will be published in the near future. Main features of all these standards are included in this paper.

Both environments are not friendly for data transmission so modulation resistant for distortions should be used. One solution is spread spectrum, but better results (especially in case of transmission speed) are achieved with OFDM modulation, which is used by the latest standards. Basics of OFDM modulation are described in this article too.

Adres

Marcin KUCHARCZYK: Politechnika Śląska, Instytut Elektroniki, ul. Akademicka 16, 44-100 Gliwice, Polska, marcinkk@iele.polsl.gliwice.pl .