



INSTYTUT ŁĄCZNOŚCI

PAŃSTWOWY INSTYTUT BADAWCZY

Zakład Systemów Radiowych (Z-1)

**Badania szerokopasmowych, radiowych systemów
telekomunikacyjnych trzeciej i kolejnych generacji
dotyczące użycia
nowych systemów szybkiej transmisji danych**

Praca nr 01 30 004 5

Warszawa, grudzień 2005

Tytuł pracy: **Badania szerokopasmowych, radiowych systemów telekomunikacyjnych trzeciej i kolejnych generacji dotyczące użycia nowych systemów szybkiej transmisji danych**

Numer pracy: 01300045

Słowa kluczowe: radiowy system dostępowy; 3G; UMTS; W-CDMA; HSDPA; HSUPA; cdma2000; WiMAX, BRAN

Kierownik pracy: mgr inż. Aleksander Orłowski

Wykonawcy pracy: mgr inż. Robert Gutkowski (Z-1)
mgr inż. Dariusz Oleszczuk (Z-1)
mgr inż. Aleksander Orłowski (Z-1)
mgr inż. Rafał Pawlak (Z-1)
mgr inż. Elżbieta Tomaszuk (Z-1)

Praca wykonana w Zakładzie Systemów Radiowych (Z-1) Instytutu Łączności w Warszawie

Kierownik Zakładu: mgr inż. Aleksander Orłowski

Niniejsze opracowanie może być powielane i publikowane wyłącznie w całości.
Powielanie i publikowanie fragmentów wymaga uzyskaniu zgody Instytutu Łączności.

Spis treści

1.	Wstęp	4
1.1.	Modele interfejsu radiowego	4
2.	Systemy komórkowe 3G	5
2.1.	Wprowadzenie	5
2.2.	Systemy 3GPP	9
2.3.	GSM/GPRS i EDGE	10
2.3.1.	GPRS	10
2.3.2.	EDGE (EGPRS)	11
2.4.	UMTS (W-CDMA)	12
2.5.	Ewolucja UMTS (W-CDMA)	14
2.5.1.	HSDPA	15
2.5.2.	HSUPA	17
2.5.3.	Podsumowanie informacji o technikach 3GPP	18
2.5.4.	Kierunki rozwoju	20
2.6.	Systemy cdma2000	20
3.	Stacjonarne systemy dostępowe nowej generacji	23
3.1.	Standardy z serii IEEE 802.16	26
3.1.1.	System IEEE 802.16-2001	26
3.1.2.	System IEEE 802.16a-2003	28
3.1.3.	Standard IEEE 802.16-2004	34
3.1.4.	Standard IEEE 802.16e	36
3.1.5.	Normalizacja w Europie	38
3.2.	Pozycja systemu WiMAX	39
3.3.	Certyfikacja urządzeń WiMAX	42
3.4.	Inne systemy WMAN – WiBro	43
4.	Hotspot WLAN	43
4.1.	Zagadnienia systemowe	43
4.2.	Hotspot	45
5.	Podsumowanie	47
	Bibliografia	50
	Wykaz akronimów	53

1. Wstęp

Niniejszy dokument jest wynikiem pracy wykonanej w ramach działalności statutowej Instytutu Łączności, której celem było przygotowanie opracowania przedstawiającego stan wiedzy na temat rozwoju systemów szybkiej transmisji danych w ruchomych i stacjonarnych, szerokopasmowych, radiowych systemach telekomunikacyjnych, trzeciej (3G) i kolejnych generacji, a zwłaszcza na temat uwarunkowań technicznych, oczekiwanych funkcjonalności i stanu prac normalizacyjnych w USA i w Europie.

Pracę podjęto ze względu na:

- obowiązki statutowe Instytutu Łączności związane ze śledzeniem rozwoju systemów radiokomunikacyjnych;
- potrzebę rozwoju i szkolenie grupy pracowników Zakładu Systemów Radiowych Instytutu Łączności zajmujących się zagadnieniami radiokomunikacji;
- możliwości opiniowania dokumentów międzynarodowych organizacji normalizacyjnych, opracowywania i opiniowania krajowych wymagań technicznych, wykonywanie badań systemów i urządzeń oraz ekspertyz dotyczących wzajemnej kompatybilności systemów.

Zadanie to jest zbieżne z tematyką zadań NB 1.3, NB 1.4 w Programie Wieloletnim.

Jako podsumowanie pracy przygotowano dokument o charakterze analitycznym. Równolegle wyniki pracy są wykorzystywane, w ramach działalności Ośrodka Szkolenia Instytutu Łączności dla potrzeb seminariów / wykładów poświęconych zagadnieniom rozwoju radiokomunikacji.

W rozdz. 2 przedstawiono zagadnienie transmisji danych w systemach stosowanych w radiowych sieciach komórkowych. Omówiono różne aspekty techniczne, opisano możliwości systemów używanych obecnie oraz kierunki prac rozwojowych w tej dziedzinie.

W rozdz. 3 dotyczącym stanu techniki w zakresie stacjonarnych systemów dostępowych skoncentrowano się na opisie właściwości systemów IEEE z serii 802.16 i przedstawiono ocenę systemu WiMAX^{/*}.

Rozdz. 4 dotyczy wykorzystania tzw. hotspot, przygotowanych do obsługi terminali wyposażonych w radiowy interfejs sieci lokalnej "Wi-Fi".

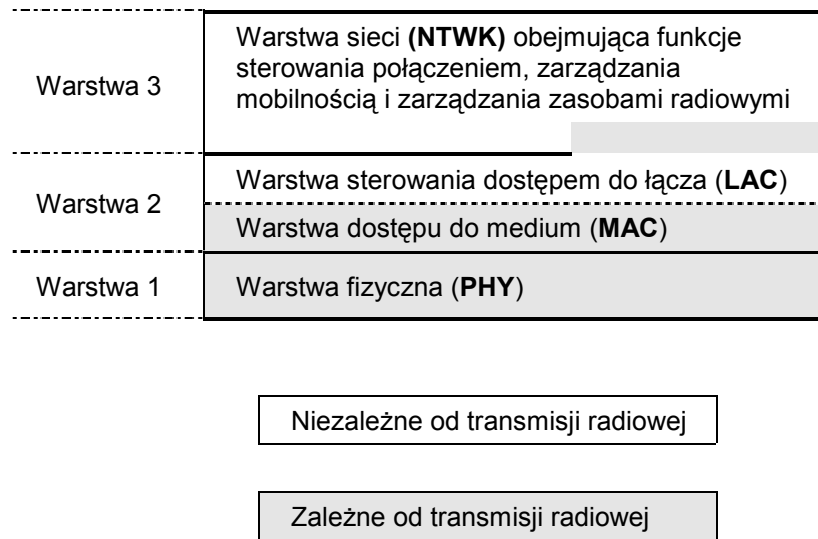
1.1. Modele interfejsu radiowego

Do opisu funkcji interfejsu radiowego systemu dostępowego obsługującego wielu użytkowników, stosuje się zwykle model warstwowy (rys. 1) składający się z trzech pierwszych warstw modelu OSI [1]:

- warstwy fizycznej (PHY);
- zmodyfikowanej warstwy łącza danych, składającej się z co najmniej dwóch podwarstw: podwarstwy dostępu do medium (*Medium Access Control, MAC*) i podwarstwy sterowania dostępem do łącza (*Link Access Control, LAC*);
- warstwy sieci (NTWK), która obejmuje takie funkcje jak sterowanie połączeniem, zarządzanie mobilnością i zarządzanie zasobami radiowymi, spośród nich niektóre są

^{/*} Stosowane akronimy zestawiono na końcu opracowania.

zależne od transmisji. Natomiast dla danych dotyczących wielu usług dla użytkowników warstwa ta jest przezroczysta.



Rys. 1: Stos protokołów radiowego systemu dostępowego

Poza wymienionymi, podstawowymi elementami tradycyjnego stosu protokołów, w systemach radiowych mogą występować inne jednostki spełniające określone funkcje w sieci.

Warstwa fizyczna (PHY) realizuje łącze radiowe pomiędzy urządzeniami, charakteryzujące się określoną przepływnością i jakością. W jednym systemie można zdefiniować różne wersje warstwy fizycznej obsługiwane przez te same protokoły warstw wyższych.

Warstwa dostępu do medium (MAC) steruje fizycznym łączem radiowym, nadzoruje jakość łącza i przenosi strumień danych do łącza radiowego. Pomiędzy warstwami PHY i MAC może występować fizyczna współzależność.

Warstwa sterowania dostępem do łącza (LAC) wykonuje podstawowe funkcje konieczne do zestawienia, utrzymania i uwolnienia łącza logicznego. Ta warstwa może być wspólna dla wszystkich interfejsów radiowych urządzenia. O ile to możliwe nie powinna składać się z funkcji zależnych od transmisji radiowej.

W niniejszym opracowaniu skoncentrowano się na opisach warstwy fizycznej systemów radiowych zaliczanych do trzeciej i nowszych generacji.

2. Systemy komórkowe 3G

2.1. Wprowadzenie

Prace rozpoznawcze dotyczące systemów radiokomunikacji ruchomej, nazywanych obecnie systemami trzeciej generacji (3G), rozpoczęto w Europie w II połowie lat osiemdziesiątych, tzn. w okresie, gdy komercyjnie użytkowano wyłącznie radiotelefoniczne sieci systemów analogowych, a pierwsze sieci systemów cyfrowych (2G) były we wstępnej fazie opracowania. W tym czasie również w ramach ITU utworzono program dotyczący przyszłościowego, publicznego systemu telekomunikacji lądowej, nazwanego *Future Public Land Mobile Telecommunications System, FPLMTS*. Później nazwę tę zmieniono na IMT-2000, -łatwiejszą do zapamiętania i kojarzącą się zarówno z przewidywanym czasem wdrożenia

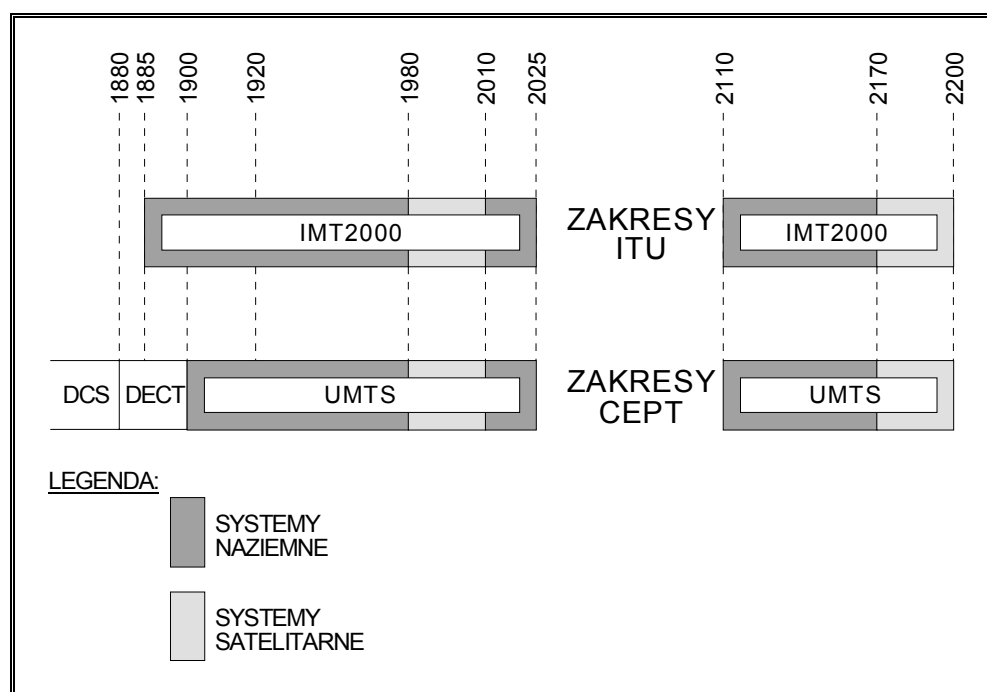
systemu ok. 2000 r. i z zakresami częstotliwości ok. 2000 MHz zarezerwowanymi dla wdrożenia systemu. W koncepcji sieci IMT-2000 wyróżniono dwa podsystemy [3]:

- satelitarny, dla komunikacji radiowej o zasięgu globalnym;
- radiokomunikacji ruchomej lądowej, realizowany przez sieci złożone z makro, mikro oraz piko komórek, budowanych odpowiednio na obszarach wiejskich i podmiejskich, miejskich oraz wewnątrz budynków.

W ITU dla systemu IMT-2000 w skali światowej rezerwowano dwa zakresy częstotliwości: 1885 ÷ 2025 MHz oraz 2110 ÷ 2200 MHz, przy czym zakresy 1980 ÷ 2010 MHz oraz 2170 ÷ 2200 MHz (razem 60 MHz) przeznaczono dla łączności satelitarnej, a pozostałe 170 MHz dla ruchomej łączności lądowej, por. rys. 2.

W Europie, ze względu na istniejące wcześniej rezerwacje, m.in. dla systemu DECT, przyjęto następujące ustalenia odnośnie wykorzystania częstotliwości radiowych dla IMT-2000:

- zakresy częstotliwości 1900-1980 MHz, 2010-2025 MHz, 2110-2170 MHz przeznaczono dla systemów naziemnych;
- zakresy częstotliwości 1980-2010 MHz, 2170-2200 MHz przeznaczono dla systemów satelitarnych.



Rys. 2: Porównanie rezerwacji częstotliwości dla systemów 3G, wg zaleceń ITU z przyjętymi w Europie (CEPT) dla systemu UMTS

Przy czym zakres częstotliwości 1920 ÷ 1980 MHz z zakresem częstotliwości 2110 ÷ 2170 MHz stanowią parę dupleksową, przeznaczoną do wykorzystania w trybie FDD.

Zakresy częstotliwości 1900 ÷ 1920 MHz i 2010 ÷ 2025 MHz są pasmami pojedynczymi przeznaczonymi do wykorzystania w trybie TDD.

Obecnie w Europie rozważane są możliwości pozyskania nowych kanałów w zakresie częstotliwości ok. 2,5 ÷ 2,7 GHz.

Sformułowane przez ITU wymagania odnośnie projektów techniki transmisji radiowej (*Radio Transmission Technology, RTT*) do stosowania IMT-2000 dotyczyły m.in. oferowanej

szybkości transmisji danych. Przyjęto, że system IMT-2000 powinien zapewniać następujące szybkości transmisji:

- 144 kbit/s na obszarach makro komórek, na otwartym powietrzu, na obszarach niezurbanizowanych, w tym do terminali w pojazdach jadących z szybkością większą niż 120 km/h;
- 384 kbit/s na obszarach makro i mikro komórek, wewnątrz pomieszczeń i na otwartym powietrzu, w tym do terminali używanych przez pieszych i w pojazdach o szybkości do 100 km/h;
- do 2 Mbit/s na obszarach mikro i piko komórek i/lub w sieciach lokalnych, wewnątrz pomieszczeń oraz na zewnątrz w niewielkiej odległości od budynków.

Plany ITU polegające na zdefiniowaniu jednego globalnego standardu IMT-2000 nie powiodły się ze względu na sprzeczności interesów organizacji normalizacyjnych reprezentujących różne regiony świata. Ostatecznie w 1998 r. uznano, że wymagania postawione przez ITU spełnia pięć projektów RTT [4, 5], spośród których jako systemy 3G obecnie rozwijane są następujące:

- IMT-DS (*direct spread*) – systemy z szerokopasmowym asynchronicznym dostępem kodowym W-CDMA (*Wideband CDMA*), w wersji z dupleksem w dziedzinie częstotliwości (FDD), przeznaczonej do stosowania w tzw. "parowanych" podzakresach częstotliwości, oraz w wersji z dupleksem w dziedzinie czasu (TDD), przeznaczonej do stosowania w podzakresach częstotliwości, w których uzyskanie odstępu separującego nadawanie i odbiór w dziedzinie częstotliwości jest niemożliwe.

Systemy 3G należące do rodziny W-CDMA są rozwijane przede wszystkim w Europie (pod nazwą UMTS) i Japonii (pod nazwą FOMA). Specyfikacje techniczne tych systemów opracowuje i publikuje stowarzyszenie 3GPP [www.3gpp.org/]. Jednym z członków 3GPP jest Europejski Instytut Norm Telekomunikacyjnych (ETSI). Działania dotyczące promocji systemów W-CDMA są także wspierane przez UMTS Forum [www.umts-forum.org/] zrzeszające zainteresowanych producentów i operatorów sieci.

Obecnie określenie "specyfikacje 3GPP" (*3GPP specifications*) dotyczy wersji systemu trzeciej generacji oraz wszystkich wersji GSM, w tym GPRS i EDGE. Także określenia UMTS, UTRAN i GERAN odnoszą się do sieci wykorzystujących specyfikacje opracowane w ramach 3GPP. Specyfikacje te są nadal udoskonalane i poprawiane. Nowe edycje poszczególnych dokumentów mogą pojawiać się wiele razy w roku, 3GPP TR 23.882 [6].

- IMT-MC (*multi-carrier*) – rodzina systemów z synchronicznym dostępem kodowym CDMA. Są to systemy należące do rodziny cdma2000 (CDMA2000) rozwijane głównie w USA^{/*}, Korei, Japonii i Chinach.

Specyfikacje techniczne cdma2000 powstały w drodze ewolucji systemu 2G zdefiniowanego w normie IS-95, a stosowanego pod nazwą handlową cdmaOne. Specyfikacje te opracowuje i publikuje stowarzyszenie 3GPP2 [www.3gpp2.org/]. Działania dotyczące promocji tej rodziny systemów radiowych są także wspierane przez stowarzyszenie CDMA Development Group (CDG) [www.cdg.org/].

Określenie specyfikacje 3GPP2 (*3GPP2 specifications*) obejmuje wszystkie wersje systemów CDMA2000, w tym 1xEV-DV, 1xEV-DO.

^{/*} cdma2000 jest nazwą handlową należącą do Telecommunications Industry Association USA, używaną dla potwierdzenia zgodności ze specyfikacjami 3GPP2. W wielu innych publikacjach zamiennie jest stosowana nazwa CDMA2000.

- IMT-TC (*time code*) – systemy z synchronicznym dostępem kodowym i z podziałem czasowym TD-SCDMA (*Time Division Synchronous CDMA*), rozwijane przede wszystkim w Chinach.

W systemach tej grupy transmisja dwukierunkowa jest zorganizowana w pojedynczym paśmie częstotliwości (TDD). Kanał fizyczny jest definiowany przez kombinację kodu i numeru szczeliny czasowej. Zakłada się możliwość skojarzenia szczelin czasowych ramki z przełączaniem charakterystyk kierunkowych systemu antenowego stacji bazowej. Bliższe informacje są publikowane pod adresem [www.tdscdma-forum.org/en/].

TD-SCDMA umożliwia dynamiczny przydział liczby szczelin czasowych przeznaczonych do obsługi ruchu w górę i w dół, dzięki czemu efektywnie pracuje przy obciążeniu ruchem asymetrycznym. Ze względu na wykorzystywanie tego samego kanału radiowego do nadawania i odbioru stacja bazowa oszacowuje parametry kanału na podstawie jakości odbieranego sygnału.

We wszystkich ww. systemach 3G wykorzystuje się rodzaje wielodostępu stosowane w systemach poprzedniej generacji: wielodostęp z podziałem kodowym (CDMA) lub czasowym (TDMA), albo ich kombinacje. Zastosowania separacji przestrzennej (SDMA) są przedmiotem prac teoretycznych, ale w instalacjach komercyjnych adaptacyjne systemy antenowe nie znalazły jak dotąd szerszego zastosowania.

W każdym z wymienionych systemów 3G można wyróżnić tzw. radiową sieć dostępową (*Radio Access Network, RAN*), obsługującą radiowe urządzenia abonenckie, charakterystyczną dla danego systemu radiowego oraz sieć szkieletową (*Core Network, CN*), która obejmuje wszystkie elementy sieci konieczne do przełączania ruchu i sterowania usługami dla abonentów.

W przypadku systemów z rodziny UMTS [7] integralną częścią specyfikacji systemu jest roaming do sieci 2G (GSM / GPRS). Zatem sieć dostępową 3GPP składa się w rzeczywistości z dwóch segmentów: sieci stacji bazowych GSM / GPRS z wielodostępem TDMA oraz sieci stacji bazowych 3G, zwanych w specyfikacji "węzłami B" (*node B*), z wielodostępem CDMA. W konsekwencji sieć szkieletowa 3GPP składa się z "klasycznej" infrastruktury GSM z komutacją łączy, wykorzystywanej głównie do realizacji połączeń telefonicznych GSM, powiązanej z siecią pakietową obsługującą GPRS i ruch sieci 3G.

Systemy z rodziny CDMA2000 powstały drogą ewolucji systemu 2G z zachowaniem kompatybilności wstecz. Toteż wdrażanie tych systemów jest o tyle prostsze, że po wymianie infrastruktury sieci na realizującą usługi 3G terminale poprzedniej generacji są nadal obsługiwane.

Uwaga. W systemach, których dotyczy niniejsze opracowanie, użytkownicy sieci radiowej mogą wykorzystywać następujące rodzaje dostępu:

- Stacjonarny (*fixed*), gdy korzystanie z usług sieci nie jest możliwe w więcej niż jednym miejscu, np. urządzenie abonenckie wymaga dołączania anteny zewnętrznej zapewniającej bezpośrednią widoczność anteny stacji bazowej.
- Nomadyczny (*nomadic*), który polega na korzystaniu z usług sieci za pomocą urządzenia, które w czasie używania jest nieruchome, ale może być łatwo przeniesione i używane w innym miejscu, np. komputer klasy laptop z wbudowanym modułem radiowym.
- Ruchomy, dotyczący tylko urządzeń przenośnych (*portable*), umożliwiający korzystanie z usług sieci za pomocą urządzenia przemieszczającego się z szybkością

pieszego. Nie wymaga się przenoszenia ruchu do innej stacji bazowej / punktu dostępu bez chwilowej przerwy komunikacji (*seamless handoff*).

- Ruchomy, dotyczący urządzeń w pojazdach (*mobile*), umożliwiający korzystanie z usług sieci za pomocą urządzenia przemieszczającego się z szybkością 120 km/h. Zapewnia bezprzerwowy handoff (*seamless handoff*).

Dostęp radiowy może mieć charakter:

- lokalny (*local access*), realizowany za pomocą systemu bliskiego zasięgu, zwykle w odległości do 100 m od punktu dostępu (stacji bazowej);
- rozległy (*remote access*), zwykle o zasięgu nie większym niż do 10 km, często nazywany "ostatnią milą".

Urządzenia abonenckie (*User Equipment, UE*) systemów 3G są zwykle wykonane jako:

- klasyczny terminal telekomunikacyjny – telefon komórkowy;
- dwusystemowy terminal, automatycznie wybierający sieć systemu 2G lub 3G, zależnie od istniejącego pokrycia radiowego i wymaganej usługi;
- terminal multimedialny, o wzbogaconych funkcjach w porównaniu z ww. – jest to zwykle kombinacja telefonu i komputera klasy palmtop (PDA);
- terminale specjalne – tego rodzaju terminal nie musi być telefonem i jest zintegrowany z innym urządzeniem, np. komputerem lub konsolą do gier.

2.2. Systemy 3GPP

Radiowe systemy telekomunikacyjne, których specyfikacje opracowuje 3GPP, składają się z sieci szkieletowej (*Core Network, CN*) i radiowej sieci dostępowej (*Radio Access Network, RAN*), która może być albo siecią GERAN (*GSM EDGE Radio Access Network*), albo siecią UTRAN (*Universal Terrestrial Radio Access Network*), albo oboma. Sieci szkieletowe 3GPP powstały drogą ewolucji architektury sieci szkieletowej GSM z protokołem MAP.

Jak wspomniano wcześniej specyfikacje radiowej sieci dostępowej opracowywane przez 3GPP dotyczą:

- dwóch wersji radiowego systemu dostępowego (UTRA):
 - UTRA FDD – z dupleksem realizowanym w dziedzinie częstotliwości,
 - UTRA TDD – z dupleksem realizowanym w dziedzinie czasu;
- GSM i technik wywodzących się bezpośrednio z tego systemu, takich jak: GPRS (*General Packet Radio Service*) i EDGE (*Enhanced Data rates for GSM Evolution*).

Specyfikacje 3G i powiązane z nimi zmiany specyfikacji GSM są opracowywane etapowo [8]. Pierwszą kompletną edycją specyfikacji systemu 3G była "3GPP Release 1999" pod względem funkcjonalnym zamrożona w grudniu 1999 r. Obejmowała m.in. definicje interfejsów radiowych w trybach FDD i TDD, z ciągiem rozpraszającym 3,84 Mcps^{/*}, sieć szkieletową wzorowaną na sieci szkieletowej GSM, USIM, kodek mowy AMR i wiele usług, w tym wiadomości multimedialne (*Multimedia Messaging Service, MMS*) i usługi lokalizacji (*Location Services, LCS*).

W specyfikacji Release 4 (pod względem funkcjonalnym zamrożonej w marcu 2001 r.) wprowadzono m.in. IP w warstwie transportowej sieci szkieletowej i usługi strumieniowe. W specyfikacji Release 5 (pod względem funkcjonalnym zamrożonej w czerwcu 2002 r.) zdefiniowano m.in. multimedialny podsystem IP (*IP Multimedia Subsystem, IMS*), transport

^{/*} Megachips per second

IP w radiowej sieci dostępowej (UTRAN), szybki pakietowy dostęp w łączu w dół – do urządzeń abonenckich (*High Speed Downlink Packet Access, HSDPA*). W specyfikacji Release 6 zdefiniowano m.in. usługi rozsyłania / rozgłaszania multimedialnych treści (*Multimedia Broadcast / Multicast Service, MBMS*), a także zdefiniowano zasady współpracy pomiędzy UMTS a radiowymi sieciami lokalnymi (*Wireless LAN / UMTS Interworking*).

Wg planu prac 3GPP najbliższe cele rozwoju tej rodziny systemów radiowych to: optymalizacja architektury radiowej sieci dostępowej, poprawa właściwości urządzeń abonenckich, usprawnienie właściwości transmisji radiowej, polegające na zwiększaniu efektywności wykorzystania widma, poprawie pokrycia, optymalizacji protokołów radiowych dla skrócenia zwłoki w radiowej sieci dostępowej.

Usprawnienie właściwości transmisji radiowej ma na celu zmniejszenie kosztów dostarczania usług. Doskonałym przykładem lepszego wykorzystania pasma częstotliwości radiowych jest HSDPA. W perspektywie zakłada się wykorzystanie technik multiplikacji anten zarówno po stronie stacji bazowej (*node B*), jak i po stronie urządzeń abonenckich (UE) – nadawanie wielu strumieni i stosowanie odbioru zbiorczego (*multi-streaming and diversity*).

Jednym z perspektywicznych celów jest także harmonizacja usług multimedialnych pomiędzy systemami 3GPP i 3GPP2.

2.3. GSM/GPRS i EDGE

Jak wspomniano specyfikacje 3GPP obejmują również systemy, które ewoluowały z GSM, które nie mają wszystkich atrybutów systemu 3G, natomiast często są zaliczane do generacji 2,5G.

2.3.1. GPRS

GPRS (*General Packet Radio Services*) jest techniką transmisji pakietowej opracowaną w ramach specyfikacji GSM w celu zapewnienia użytkownikom urządzeń ruchomych dostępu do sieci wykorzystujących protokoły X.25 oraz IP, w tym do Internetu. Komunikacja GPRS odbywa się w trybie bezpołączeniowym. Terminal użytkownika może być skojarzony z siecią nie pobierając i nie wysyłając danych, a zasoby sieci są mu przydzielane tylko na czas przekazu danych.

W specyfikacji GSM/GPRS [11] zdefiniowano cztery schematy kodowania (*Coding Scheme, CS*) danych, tab. 1, różniące się stopniem zabezpieczenia transmisji w kanale radiowym, umożliwiające w odniesieniu do pojedynczej szczeliny czasowej uzyskiwanie następujących szybkości transmisji:

Tab. 1: Schematy kodowania systemu GPRS

Schemat kodowania	Przepływność na szczelinę czasową [kbit/s]
CS-1	9,05
CS-2	13,4
CS-3	15,6
CS-4	21,4

Uwaga. Kodowanie CS-4 nie wprowadza bitów nadmiarowych.

Aktualnie usługi transmisji GPRS oferuje większość operatorów europejskich sieci GSM, jednakże faktycznie osiągalne szybkości transmisji są mniejsze od szybkości maksymalnych

(171,2 kbit/s dla nadawania i dla odbioru) zdefiniowanych w specyfikacji systemu GSM/GPRS dla ośmiu szczelin czasowych. Ograniczenia występują zarówno po stronie sieci ze względu na:

- obciążenie sieci i priorytet dla transmisji głosu w trybie z komutacją kanałów,
- liczbę szczelin czasowych stacji bazowych udostępnianych dla transmisji pakietowej GPRS w łączu w dół i w łączu w górę,
- pominięcie opcji CS-3 i CS-4 w ofercie handlowej usługi GPRS (w sieciach obsługujących GPRS obowiązkowy jest tylko schemat CS-1),

jak też po stronie terminali:

- dostępne na rynku terminale GSM z usługą GPRS mogą odbierać do czterech i nadawać w jednej lub dwóch szczelinach czasowych.

Tzn. w najkorzystniejszym przypadku szybkość przesyłania danych do terminala może osiągać połowę, a szybkość transmisji danych z terminala jedną czwartą teoretycznej maksymalnej szybkości dla określonego schematu kodowania. Jeżeli przyjąć, że w praktyce stosowane są schematy CS-1 i CS-2, to rzeczywista maksymalna szybkość oferowana dla użytkownika nie przekracza 53,6 kbit/s w łączu w dół i 26,8 kbit/s w górę. Wartości średnie dla pojedynczego użytkownika są mniejsze. W przypadku wystąpienia błędu retransmisja odbywa się z wykorzystaniem tego samego schematu kodowania.

2.3.2. EDGE (EGPRS)

W specyfikacji systemu GSM fazy 2+, oprócz modulacji GMSK stosowanej w systemie "klasycznym", w celu zwiększenia szybkości transmisji danych zaprojektowano wersję systemu z modulacją 8-PSK. Zmiana modulacji z dwuwartościowej GMSK na ośmiuwartościową 8-PSK pozwala, przy tej samej szybkości modulacji 270 ksym/s^{/*}, zamiast przepływności bitowej 270 kbit/s uzyskać 810 kbit/s, co przekłada się odpowiednio na blisko trzykrotne zwiększenie szybkości transmisji danych użytkownika (do maksimum 473,6 kbit/s w przypadku wykorzystywania ośmiu szczelin czasowych). Transmisja realizowana w systemie GSM z modulacją 8-PSK jest znana pod nazwą EDGE. W przypadku transmisji pakietowej jest nazywana EGPRS.

Dla EGPRS zdefiniowano dziewięć schematów modulacji i kodowania, tab. 2: MCS1, MCS2, MCS3, MCS4 (modulacja GMSK) i MCS5, MCS6, MCS7, MCS8, MCS9 (modulacja 8-PSK). Większy numer oznacza większą szybkość transmisji danych, lecz słabsze zabezpieczenie kodowe. W zależności od jakości łącza radiowego (przede wszystkim odległości terminala od stacji bazowej i zakłóceń wspólnokanałowych), system wykorzystuje z odpowiednim zabezpieczeniem kodowym, albo modulację 8-PSK, albo modulację GMSK.

Należy pamiętać, że modulacja 8-PSK jest bardziej podatna na zakłócenia niż GMSK. Z tego powodu adaptacyjny protokół systemu EDGE przewiduje zmianę schematu modulacji i kodowania, tab. 2, w taki sposób aby dopasować parametry transmisji do stosunku mocy sygnału użytecznego do zakłóceń (C/I). Np. wg specyfikacji GSM [ETSI TS 151 010-1] w paśmie 900 MHz wymagana statyczna czułość odbiornika GMSK dla schematu MCS-4 wynosi –101,5 dBm, wymagana statyczna czułość odbiornika 8-PSK dla schematu MCS-5 wynosi –98 dBm, a dla schematu MCS-9 wynosi tylko –86 dBm. Podczas transmisji EGPRS możliwe jest powtórne przesłanie błędnie odebranego pakietu z wykorzystaniem schematu kodowania o niższym numerze.

^{/*} kilo symboli na sekundę

Tab. 2: Schematy modulacji i kodowania systemu EGPRS (EDGE)

Schemat modulacji i kodowania	Modulacja	Przepływność na szczelinę czasową [kbit/s]
MCS-9	8-PSK	59,2
MCS-8	8-PSK	54,4
MCS-7	8-PSK	44,8
MCS-6	8-PSK	29,6
MCS-5	8-PSK	22,4
MCS-4	GMSK	17,6
MCS-3	GMSK	14,8
MCS-2	GMSK	11,2
MCS-1	GMSK	8,8

2.4. UMTS (W-CDMA)

W okresie tworzenia koncepcji UMTS [7, 11] zakładano, że nowy system w każdym środowisku powinien obsługiwać połączenia telefoniczne i zapewniać usługę przesyłanie danych w trybie pakietowym lub z komutacją obwodów. Minimalne wymagania dla usługi przenoszenia, sformułowane zależnie od środowiska, w którym znajduje się stacja ruchoma, podano w tab. 3.

Jako najważniejsze wskaźniki jakości usług (QoS) w UMTS zdefiniowano:

- maksymalną szybkość transmisji, kbit/s,
- gwarantowaną szybkość transmisji, kbit/s,
- dopuszczalne opóźnienie przesyłu, ms,
- możliwość negocjacji klasy QoS.

Pod względem dopuszczalnego opóźnienia w specyfikacji systemu wyróżniono następujące klasy usług:

- konwersacja (*conversational class*), np. rozmowa,
- strumień (*streaming class*), np. strumieniowe wideo (streaming video);
- interakcyjna (*interactive class*), np. przeglądarka internetowa,
- w tle (*background*), np. ładowanie e-mail w tle.

Pierwsza kompletna edycja specyfikacji UMTS została w 3GPP nazwana Release 99.

Tab. 3: Minimalne wymagania dotyczące transmisji w UMTS [7]

Środowisko pracy	W czasie rzeczywistym / opóźnienie stałe		Nie czasie rzeczywistym / opóźnienie zmienne	
	Maksymalna szybkość transmisji	BER / Maksymalne opóźnienie transferu	Maksymalna szybkość transmisji	BER / Maksymalne opóźnienie transferu
Wiejskie, na zewnątrz pomieszczeń, szybkość terminala do 500 km/h Uwagi: 1, 5	co najmniej 144 kbit/s, zalecane 384 kbit/s, ziarnistość 16 kbit/s lub mniejsza Uwaga: 3	BER $10^{-3} \div 10^{-7}$; opóźnienie 20 ÷ 300 ms Uwaga: 4	co najmniej 144 kbit/s, zalecane 384 kbit/s	BER = $10^{-5} \div 10^{-8}$; opóźnienie 150 ms lub większe Uwaga: 2
Miejskie / podmiejskie na zewnątrz pomieszczeń, szybkość terminala do 120 km/h	co najmniej 384 kbit/s, zalecane 512 kbit/s, ziarnistość 40 kbit/s lub mniejsza Uwaga: 3	BER $10^{-3} \div 10^{-7}$; opóźnienie 20 ÷ 300 ms Uwaga: 4	co najmniej 384 kbit/s, zalecane 512 kbit/s,	BER = $10^{-5} \div 10^{-8}$; opóźnienie 150 ms lub większe Uwaga: 2
Wewnątrz pomieszczeń / na zewnątrz w małej odległości od budynku, szybkość terminala do 10 km/h	2 Mbit/s, ziarnistość 200 kbit/s lub mniejsza Uwaga: 3	BER $10^{-3} \div 10^{-7}$; opóźnienie 20 ÷ 300 ms Uwaga: 4	2 Mbit/s	BER = $10^{-5} \div 10^{-8}$; opóźnienie 150 ms lub większe Uwaga: 2

Uwaga 1: Szybkość maksymalną 500 km/h, którą powinien obsługiwać UTRA w środowisku wiejskim, na zewnątrz pomieszczeń ustalono, aby zapewnić usługi w szybkich pojazdach, np. pociągach. Nie oznacza to, że jest to wartość typowa dla tego środowiska.

Uwaga 2: Maksymalne opóźnienie transferu zaleca się odnosić jako docelowe dla 95% danych.

Uwaga 3: Wstępne oszacowanie proponowanej ziarnistości.

Uwaga 4: Prawdopodobnie jest możliwy kompromis między BER i opóźnieniem.

Uwaga 5: Oceniając parametry radiowe, w środowisku wiejskim, na zewnątrz pomieszczeń, skupić uwagę na typowych szybkościach do 250 km/h.

System UMTS zdefiniowano w trzech dolnych warstwach (L1, L2 i L3) modelu OSI, rys. 3 [12]:

- W warstwie fizycznej (PHY) są realizowane: korekcja błędów (FEC), dopasowanie szybkości, przeplot i multipleksowanie kanałów transportowych, tworzenie kanałów fizycznych, pomiar jakości łącza, sterowanie mocą nadajnika, synchronizacja, rozpraszanie widma, skrambling, modulacja i generacja sygnału w kanałach radiowych.

W odniesieniu do pojedynczego kanału 15 kHz systemowy zysk przetwarzania, wynikający z rozpraszania widma za pomocą ciągu 3,84 Mcps, wynosi: $3840/15 = 256$ czyli 24 dB.

- W warstwie łącza danych wyróżnia się podwarstwy: MAC (*Medium Access Control*), RLC (*Radio Link Control*), PDCP (*Packet Data Convergence Protocol*) oraz BMC (*Broadcast/Multicast Control*).

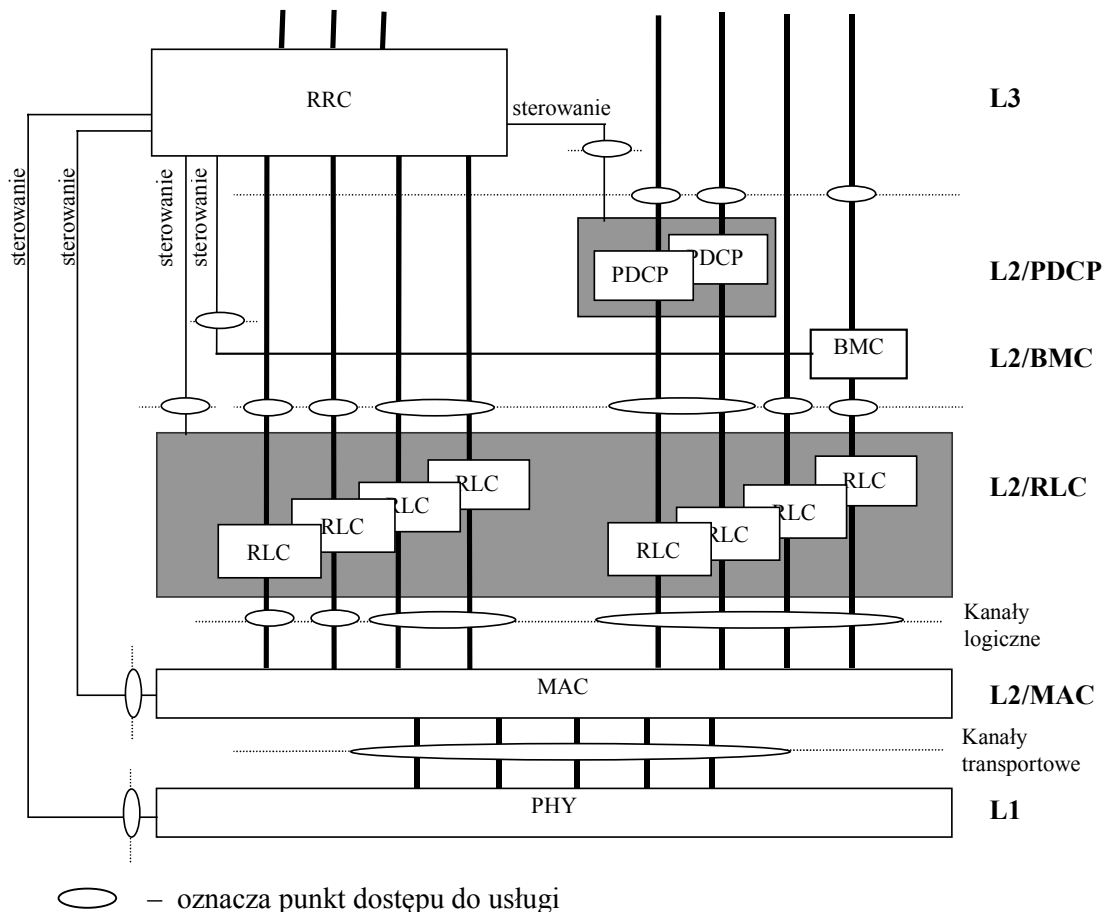
W warstwie tej są tworzone kanały logiczne w kanałach transportowych, następuje wstawianie lub odczyt identyfikacji UE, wybór szybkości i formatu transportu wg bieżących potrzeb, ustalenie priorytetów zadań transportowych, szyfrowanie danych

(opcjonalnie), akceptacja bloków danych lub żądanie powtórzenia w przypadku wystąpienia błędów, sterowanie przepływem.

- W warstwie sieci wyróżnia się platformę sterowania (*Control, C-*) i sterowania użytkownika (*User, U-*). PDCP oraz BMC istnieją tylko w platformie *U-*. Podwarstwa RRC (*Radio Resource Control*) platformy sterowania styka się z warstwami niższymi.

Główne zadania podwarstwy RRC to: rozsyłanie informacji systemowych, ustanowienie i kasowanie połączeń, zarządzanie połączeniami, wybór komórki w trybie biernym (*idle*), polecenia i ocena pomiarów wykonanych w warstwie fizycznej.

Warstwa fizyczna UMTS ma dwa interfejsy do warstw wyższych. Pierwszy to interfejs do podwarstwy MAC w warstwie łącza danych, służący do wymiany bloków danych (dane użytkownika i sterowanie) w kanałach transportowych. Oprócz tego interfejs do warstwy RRC. Za pośrednictwem tego interfejsu RRC może np. bezpośrednio modyfikować parametry kanałów kodowych, a warstwa fizyczna może bezpośrednio przekazywać informacje o aktualnej jakości kanału do RRC, aby RRC mogła podjąć natychmiast odpowiednie działania, gdy jakość połączenia spada.



Rys. 3: Stos protokołów UMTS

2.5. Evolucja UMTS (W-CDMA)

Ważnym usprawnieniem i uzupełnieniem istniejących sieci UMTS 3GPP Release 99 jest zdefiniowanie technik szybkiego dostępu pakietowego (*High Speed Packet Access, HSPA*). HSPA jest określeniem przyjętym przez UMTS Forum, a odnoszącym się do modyfikacji

interfejsu radiowego systemu 3GPP zdefiniowanych w specyfikacjach 3GPP Release 5 i Release 6, dotyczących:

- HSDPA (*High Speed Downlink Packet Access*), nowego interfejsu łącza radiowego w dół (w kierunku terminali użytkowników końcowych),

oraz

- HSUPA (*High Speed Uplink Packet Access*), nowego interfejsu łącza radiowego w górę (w kierunku stacji bazowych),

a także do usprawnionego dedykowanego kanału (*Enhanced Dedicated Channel, E-DCH*).

HSDPA oraz HSUPA są stosowane w kanale radiowym o szerokości 5 MHz systemu zdefiniowanego w 3GPP Release 99. Usprawnienia te dotyczą wyłącznie radiowej sieci dostępowej. Nie ma potrzeby wprowadzenia zmian w sieci szkieletowej, innych niż zwiększenie pojemności do granicy koniecznej ze względu na potrzebę obsługi zwiększonego ruchu.

2.5.1. HSDPA

HSDPA wprowadza nowe elementy do radiowej sieci dostępowej:

- nowy wspólny kanał (*High Speed Downlink Shared Channel, HS-DSCH*), który może być jednocześnie wykorzystywany przez wielu użytkowników;
- stosowanie skróconego do 2 ms (*Transmission Time Interval, TTI*), który umożliwia większe szybkości transmisji w warstwie fizycznej;
- użycie szybszego szeregowania danych;
- zastosowanie szybkiej retransmisji w oparciu o technikę *Hybrid Automatic Response Request (HARQ)*;
- stosowanie adaptacyjnych metod modulacji i kodowania (*Adaptive Modulation and Coding*).

HS-DSCH jest współużytkowanym kanałem składającym się z maksimum 15 kanałów kodowych CDMA o współczynniku rozpraszania 16 ($SF = 16$). Wszystkie te kanały mogą być w czasie TTI przydzielane jednemu użytkownikowi, albo rozdzielane pomiędzy kilku użytkowników. W HSDPA nie ma sterowania mocą nadajnika, natomiast modulacja, kodowanie i liczba kodów są zmienne w celu adaptacji do warunków kanału radiowego.

Podstawowe parametry interfejsu radiowego HSDPA są następujące:

- Pasmo kanału radiowego: 5 MHz (jak w UMTS Release 1999);
- Modulacja: 16-QAM (to 4 bity na symbol modulacji);
- Szybkość ciągu rozpraszającego: 3,84 Mchip/s (jak UMTS);
- Współczynnik rozproszenia: $SF = 16$;
- Pojedynczy kod SF: $3840 / 16 = 240$ ksymboli/s albo 960 kbit/s;
- Cztery kody SF: 3,84 Mbit/s;
- Ośiem kodów SF: 7,68 Mbit/s;
- 15 kodów SF = 14,4 Mbit/s.

Zastosowanie TTI o czasie 2 ms, w porównaniu z czasem od 10 ms do 80 ms w UMTS oznacza, że system szybciej reaguje na zmiany warunków w kanale radiowym lub zlecenia użytkownika i szybciej przydziela pojemność kanału dla użytkownika.

Szybsze szeregowanie oznacza przystosowanie systemu do zmiennych warunków radiowych, a stacja bazowa w krótkim czasie może przydzielać dla danego użytkownika największą możliwą pojemność, czyli użytkownik może otrzymać tyle danych na ile pozwalają warunki radiowe.

Szybka adaptacja do warunków łącza (AMC) oznacza, że formaty modulacji i kodowania mogą być zmieniane zgodnie ze zmianami warunków w kanale, skutkując większymi szybkościami dla użytkowników znajdujących się w korzystnych warunkach radiowych.

W UMTS Release 99 stosowano tylko modulację QPSK. Jeżeli warunki łącza na to pozwalają w HSDPA możliwe jest stosowanie modulacji 16-QAM i zwiększenie tym sposobem szybkości transmisji.

Żądanie szybkiej retransmisji (H-ARQ) umożliwia powtarzanie błędnych pakietów w obrębie okna 10 ms, wskutek czego przepustowość łącza pozostaje duża. Poza tym w HSDPA przesunięto realizację ARQ do stacji bazowej, natomiast w systemie wg specyfikacji Release 99 proces ten zrealizował sterownik (RNC).

Tab. 4: Typowe przepływności w systemie HSDPA

Modulacja	Współczynnik kodu	Przepływność z 5 kodami	Przepływność z 10 kodami	Przepływność z 15 kodami
QPSK	1/4	600 kbit/s	1,2 Mbit/s	1,8 Mbit/s
	2/4	1,2 Mbit/s	2,4 Mbit/s	3,6 Mbit/s
	3/4	1,8 Mbit/s	3,6 Mbit/s	5,4 Mbit/s
16-QAM	2/4	2,4 Mbit/s	4,8 Mbit/s	7,2 Mbit/s
	3/4	3,6 Mbit/s	7,2 Mbit/s	10,7 Mbit/s
	4/4	4,8 Mbit/s	9,6 Mbit/s	14,4 Mbit/s

Wdrożenie HSDPA wymaga zastosowania nowych terminali, które powinny obsługiwać również interfejs radiowy zgodny z Release 99. Pierwsze terminale powinny być kartami PC o szybkości maksymalnej 1,8 Mbit/s (kategoria 12) i 3,6 Mbit/s (kategoria 6), tab. 5. HSDPA kategorii 10 teoretycznie umożliwia uzyskanie szybkości transmisji do 14,4 Mbit/s na użytkownika.

Tab. 5: Charakterystyki modulacji i kodowania w systemie HSDPA

Kategorie HS-DSCH	Maksymalna liczba odbieranych kodów HS-DSCH	Minimalny odstęp między TTI	Modulacja	Maksymalna szybkość transmisji
Kategoria 1	5	3	QPSK & 16-QAM	1,2 Mbit/s
Kategoria 2	5	3	QPSK & 16-QAM	1,2 Mbit/s
Kategoria 3	5	2	QPSK & 16-QAM	1,8 Mbit/s
Kategoria 4	5	2	QPSK & 16-QAM	1,8 Mbit/s
Kategoria 5	5	1	QPSK & 16-QAM	3,6 Mbit/s
Kategoria 6	5	1	QPSK & 16-QAM	3,6 Mbit/s
Kategoria 7	10	1	QPSK & 16-QAM	7,3 Mbit/s
Kategoria 8	10	1	QPSK & 16-QAM	7,3 Mbit/s
Kategoria 9	15	1	QPSK & 16-QAM	10,2 Mbit/s
Kategoria 10	15	1	QPSK & 16-QAM	14,4 Mbit/s
Kategoria 11	5	2	tylko QPSK	900 kbit/s
Kategoria 12	5	1	tylko QPSK	1,8 Mbit/s

2.5.2. HSUPA

HSUPA definiuje nowy interfejs radiowy łączący stację bazową.

Celem ogólnym jest uzyskanie pokrycia, przepływności i redukcja zwłoki w kanałach transportowych. Specyfikację tę zdefiniowano w połowie 2005 r. (Release 6). Wprowadzono pojęcie E-DCH dedykowanych kanałów, zarówno dla sygnalizacji, jak i obsługi ruchu.

Podobnie jak w HSDPA wprowadzono szybki protokół retransmisji *Hybrid ARQ* dla poprawiania błędów warstwy fizycznej.

Teoretycznie maksymalna fizyczna przepływność wynosi 5,5 Mbit/s, co pozwala uzyskać do 4 Mbit/s w warstwie aplikacji, tab. 6.

Wdrożenie HSUPA także będzie wymagać wprowadzenia nowych terminali. Urządzenia powinny być dostępne w 2006 r.

Tab. 6: Charakterystyki modulacji i kodowania w systemie HSUPA

Kategoria E-DCH	Maksymalna liczba nadawanych kodów E-DCH	Minimalny współczynnik rozpraszania	Obsługa 10 ms i 2 ms TTI E-DCH	Maksymalna liczba bitów E-DCH bloków transportowych nadawanych w obrębie 10 ms E-DCH TTI	Maksymalna liczba bitów E-DCH bloków transportowych nadawanych w obrębie 2 ms E-DCH TTI
Kategoria 1	1	SF4	tylko 10 ms	7296	-
Kategoria 2	2	SF4	10 ms oraz 2 ms	14592	2919
Kategoria 3	2	SF4	tylko 10 ms	14592	-
Kategoria 4	2	SF2	10 ms oraz 2 ms	20000	5837
Kategoria 5	2	SF2	tylko 10 ms	20000	-
Kategoria 6	4	SF2	10 ms oraz 2 ms	20000	11520

2.5.3. Podsumowanie informacji o technikach 3GPP

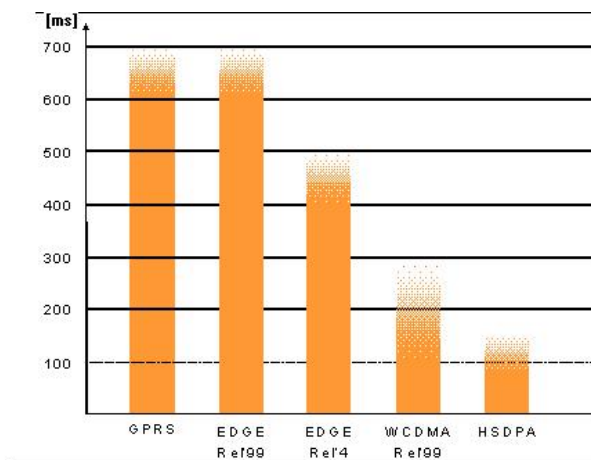
W tab. 7 zestawiono możliwości różnych technik transmisji danych wywodzących się ze specyfikacji GSM i UMTS.

Tab. 7: Porównanie możliwości transmisji danych systemów 3GPP

System / szerokość kanału radiowego	Maksymalna teoretyczna szybkość w sieci (do terminala)	Średnia przepływność na użytkownika przy przesyłaniu plików do terminala	Pojemność sieci	Inne cechy
GPRS / 200 kHz	171,2 kbit/s	30 ÷ 40 kbit/s		
EDGE (EGPRS) / 200 kHz	473,6 kbit/s	100 ÷ 130 kbit/s	2,5 do 3 razy większa niż GPRS	kompatybilna wstecz z GPRS
UMTS (W-CDMA) Release 1999 / 5 MHz	384 kbit/s 2 Mbit/s	220 ÷ 320 kbit/s	większa niż EDGE dla aplikacji wymagających szerokiego pasma	jednocześnie głos i dane, QoS, wzmocnione bezpieczeństwo, multimedia i redukcja zwłoki
UMTS HSDPA Release 5 / 5 MHz	14,4 Mbit/s	550 ÷ 1100 kbit/s	2,5 do 3,5 razy uzyskiwanej przez W-CDMA	kompatybilna wstecz z W-CDMA
UMTS HSUPA Release 6 / 5 MHz	j.w.	j.w.	j.w.	zwiększenie szybkości łącza do stacji bazowej do maks. 5,5 Mbit/s, średnio 4 Mbit/s

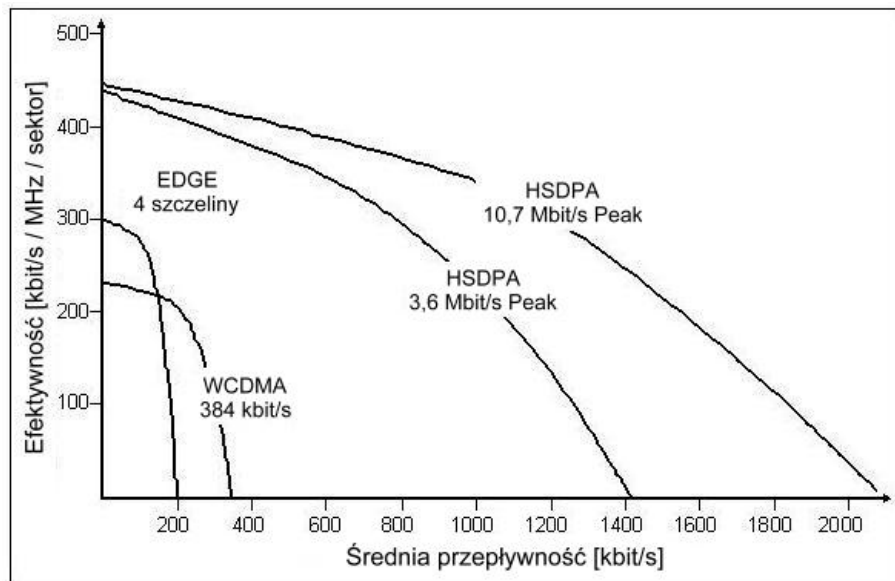
Należy zauważyć, że maksymalną szybkość łącza "w dół" 14,4 Mbit/s uzyskuje się stosując modulację 16-QAM i wykorzystując 15 kodów. Wdrożenie HSDPA umożliwia uzyskiwanie szybkości transmisji niedostępnej w żadnym innym systemie ruchomym o porównywalnym zasięgu.

Istotną cechą systemu transmisji danych, zwłaszcza dla zastosowań multimedialnych, jest zwłoka (*latency*). Na rys. 4 porównano szacunkowe wartości tego parametru dla różnych omówionych wyżej technik transmisji danych.



Rys. 4: Zwłoka w systemach GPRS, EDGE (*Release 1999*), EDGE (*Release 4*), W-CDMA (*Release 1999*) i HSDPA

Na rys. 5 pokazano efektywność wykorzystania widma częstotliwości radiowych w systemach EDGE, W-CDMA, HSDPA. Warto zauważyć, że przy wymaganych szybkościach mniejszych niż 100 kbit/s system EDGE (4 szczeliny aktywne) jest bardziej efektywny niż W-CDMA.



Rys. 5: Efektywność wykorzystania widma częstotliwości

Rys. 4 i rys. 5 pokazują, w jakim stopniu HSDPA zwiększa przepływność łącza a minimalizuje opóźnienia. Z punktu widzenia użytkowników oznacza to lepsze wskaźniki wydajności sieci, więcej i szybsze aplikacje.

HSDPA, zwłaszcza stosowana jednocześnie z HSUPA, jest techniką, która umożliwia zbudowanie najszybszej i najbardziej pojemnej radiowej ruchomej sieci dostępowej. Maksymalna szybkość transmisji HSDPA, odniesiona do tej samej szerokości pasma, jest prawie dwa razy większa niż konkurencyjnego systemu cdma2000 1xDO, por. punkt 2.6. Te cechy predysponują instalacje HSDPA w tzw. "hotspot" – miejscach skupiających wielu użytkowników o dużych wymaganiach w zakresie transmisji danych.



Rys. 6: Teoretyczna przepływność w odniesieniu do pasma 5 MHz

Dalsze projektowane usprawnienia UMTS zmierzają do stosowania w urządzeniach ruchomych dwóch torów odbioru zbiorczego.

Kolejnym rozważanym usprawnieniem jest multiplikacja wejść i wyjść (MIMO) wprowadzana w specyfikacji 3GPP Release 6. W systemie MIMO wyposażonym w M torów nadawczych każdy kod rozpraszający może być wykorzystany M razy. Na skutek tego system MIMO ma większą pojemność niż system z jednym torem nadawczym. Symulacje wskazują, że zastosowanie MIMO pozwoli zwiększyć szybkość łącza w dół do 21,6 Mbit/s.

2.5.4. Kierunki rozwoju

W sumie zastosowanie HSPA (HSDPA i HSUPA) przynosi korzyści dla użytkowników i dla operatora sieci:

- zwiększenie szybkości dla aplikacji użytkowników końcowych,
- usprawnienie interaktywności dla aplikacji użytkowników końcowych,
- zwiększenie pojemności sieci operatora.

Sieci UMTS zbudowane w oparciu o systemy zgodne ze specyfikacją Release 99 oferują szybkość maksymalną 384 kbit/s. Zastosowanie HSDPA pozwoli na oferowanie szybkości do 14,4 Mbit/s. Ilu użytkowników będzie mogło skorzystać z tej przepływności będzie zależało od sieci, warunków radiowych i rodzaju terminala. Rozsądną propozycją jest przyjęcie scenariusza z większą liczbą terminali kategorii 6 HSDPA (maks. 3,6 Mbit/s), co i tak oznacza 10-krotne zwiększenie szybkości w porównaniu z oferowaną obecnie.

Ta szybkość pozwoli na wprowadzenie nowych aplikacji, takich jak wysokiej jakości strumieniowe wideo, szybsze ładowanie plików muzycznych i innych treści rozrywkowych.

Uwaga. Należy zauważyć, że szybkość 14,4 Mbit/s jest uzyskiwana przy wykorzystaniu wszystkich 15 kodów CDMA, modulacji 16-QAM i kodowaniu 4/4. Urządzenia wykorzystujące 5 kodów oferują szybkość 3,6 Mbit/s.

Innym istotnym skutkiem wprowadzenia HSPA (HSDPA i HSUPA) jest znaczne zmniejszenie zwłoki (opóźnienia) w sieci. Badania pierwszych instalacji wykazują, że zwłoka nie przekracza 60 ms, co oznacza możliwość wykorzystania kanału dla interaktywnych usług czasu rzeczywistego (np. wideo, gry komputerowe).

Efektywność wykorzystania pasma kanału 5 MHz wzrasta ok. 5-krotnie, co przynosi operatorowi znaczące możliwości oferowania usług i szanse obniżenia kosztów / bit.

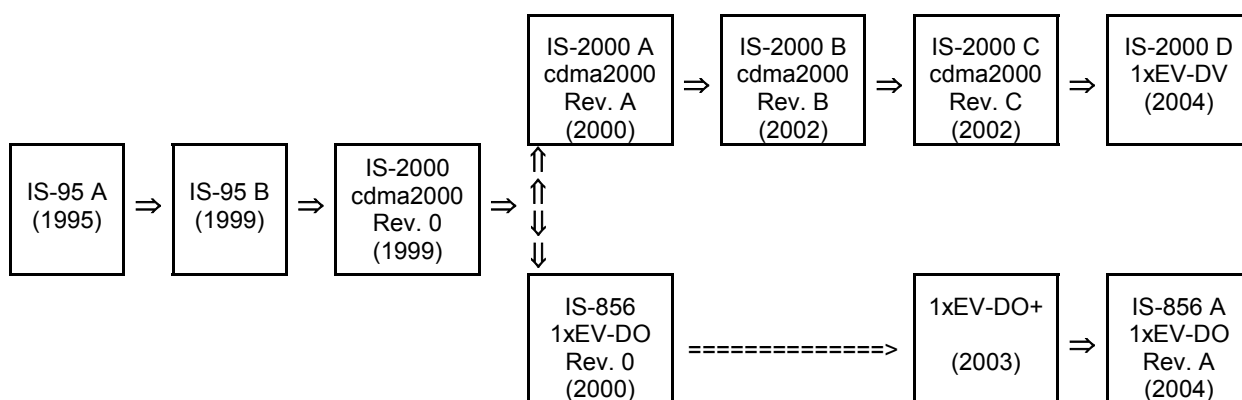
2.6. Systemy cdma2000

Jak wspomniano w punkcie 2.1, jedną z opcji IMT-2000 wybraną przez ITU był system CDMA z wieloma falami nośnymi IMT Multi Carrier (IMT-MC), wywodzący się z komórkowego systemu radiotelefonicznego zdefiniowanego w normie TIA/EIA IS-95A. Systemy radiowe 2G zgodne z tą normą i jej rewizją IS-95B noszą nazwę handlową cdmaOne. Jednakże w opracowanych i wdrożonych systemach 3G z tej rodziny, podobnie jak wcześniej w systemach 2G, jest wykorzystywana tylko jedna fala nośna, co jest zaznaczane przez dodanie "1x" do nazwy cdma2000 lub CDMA2000. Specyfikacje techniczne systemów z rodziny cdma2000 opracowuje stowarzyszenie 3GPP2 [32 ÷ 39].

Systemy te zaprojektowano do obsługi połączeń głosowych i transmisji danych. Podstawowe wersje systemu, stosowane w USA, Korei Płd., Chinach i innych krajach^{/*}, pracują przeważnie w paśmie częstotliwości 850 MHz lub 1900 MHz. Szybkość ciągu rozpraszającego wynosi 1,2288 Mchip/s. Szerokość pasma kanału radiowego wynosi 1,23 MHz w paśmie 850 MHz i 1,25 MHz w innych pasmach częstotliwości.

^{/*} W Polsce system jest stosowany w wersji stacjonarnej, – nie obsługującej handover, w sieci o nazwie "Sferia" należącej do OSP Polpager Sp. z o.o.

Możliwości transmisji danych w sieci systemów tej rodziny są następujące: wersja IS-95A udostępnia szybkość do 14,4 kbit/s, IS-95B szybkość do 64 kbit/s, a w specyfikacji wersji opublikowanej w 1999 r. przewidziano szybkość do 144 kbit/s. CDMA2000 1x miał dwukrotnie większą pojemność dla połączeń głosowych i szybkość transmisji danych do 307 kbit/s. Drogi rozwoju tych systemów przedstawiono na rys. 7. Natomiast wersja 1xEV-DV jest uniwersalnym systemem 3G obsługującym ruch telefoniczny i pakietową transmisję danych o szybkości do 3,09 Mbit/s. Wersja 1xEV-DO jest zoptymalizowana do transmisji danych pakietowych, oferuje maksymalną szybkość do 2,4 Mbit/s i nie obsługuje ruchu telefonicznego. Wg danych CDMA Development Group [www.cdg.org/] obecnie 139 operatorów stosuje systemy 3G rodziny CDMA2000 1x, a 29 operatorów stosuje systemy 1xEV-DO.



Uwaga. System zgodny z IS-95A lub IS-95B był także nazywany cdmaOne.

Rys. 7: Drogi ewolucji specyfikacji systemów CDMA z rodziny cdma2000

1xRTT

1xRTT (cdma2000) jest generacją standardu CDMA, w którym zwiększono liczbę kanałów przeznaczonych do transmisji głosu od 1,5 do 2 razy w stosunku do klasycznego systemu CDMA wg IS-95, uzyskano szczytową prędkość transmisji danych ok. 153 kbit/s oraz kompatybilność wstecz z sieciami systemu cdmaOne. Symbol 1x oznacza pojedynczą falę nośną używaną w systemie CDMA 2G, zaś RTT (*Radio Transmission Technology*) technikę transmisji radiowej.

1xEV-DO 1x Evolution Data Only

1xEV-DO (cdma2000) jest standardem 3G umożliwiającym transmisję danych z prędkością szczytową dochodzącą do 2,4 Mbit/s. 1xEV-DO stanowi rozwinięcie standardu cdma2000. Wymaga dodatkowego kanału o szerokości 1,25 MHz przeznaczonego wyłącznie do transmisji danych. Aby uzyskać transmisję głosu i danych operator musi stosować drugi kanał cdma2000.

1xEV-DV 1x Evolution Data and Voice

1xEV-DV (cdma2000) jest standardem 3G, który pozwala użytkownikom ruchomym na transmisję danych z prędkością 1,2 Mbit/s. W przypadku użytkowników stacjonarnych prędkość szczytowa może sięgać 3,1 Mbit/s. Ten standard pozwala na jednoczesną transmisję głosu i usług multimedialnych, wymagających szybkiej transmisji pakietowej.

Tab. 8: Techniki transmisji radiowej CDMA

Technika radiowa	CDMA IS-95	cdma2000 1x	cdma2000 1xEV-DO	cdma2000 1xEV-DV
Standard	TIA/EIA IS-95A, TIA/EIA IS-95B	TIA/EIA/IS-2000 www.3gpp2.org	TIA/EIA/IS-856 www.3gpp2.org	TIA/EIA/IS-2000 Releases C & D www.3gpp2.org
Droga rozwoju	cdma2000 1xRTT	cdma2000 1xEV-DO		
Szerokość kanału	1,23 MHz lub 1,25 MHz	1,23 MHz lub 1,25 MHz	1,23 MHz lub 1,25 MHz	1,23 MHz lub 1,25 MHz
Przepływność bitowa	14,4 kbit/s	144 - 307 kbit/s	do 2,4 Mbit/s	do 3,09 Mbit/s
Generacja	2G (IS-95A) 2,5G (IS-95B)	2,5G	3G	3G

Aktualnie specyfikacje systemu składają się z kilkudziesięciu części opublikowanych w kilku edycjach (Release). Dokumenty specyfikacji 3GPP2 definiują cztery podsystemy:

- radiową sieć dostępową (*Radio Access Network, RAN*);
- sieć szkieletową z komutacją łączy (*Circuit Switched Core Network, CS-CN*);
- sieć szkieletową danych pakietowych (*Packed Data Core Network, P-CN*);
- centrum utrzymania i obsługi (*Operational and Maintenance Center, OMC*).

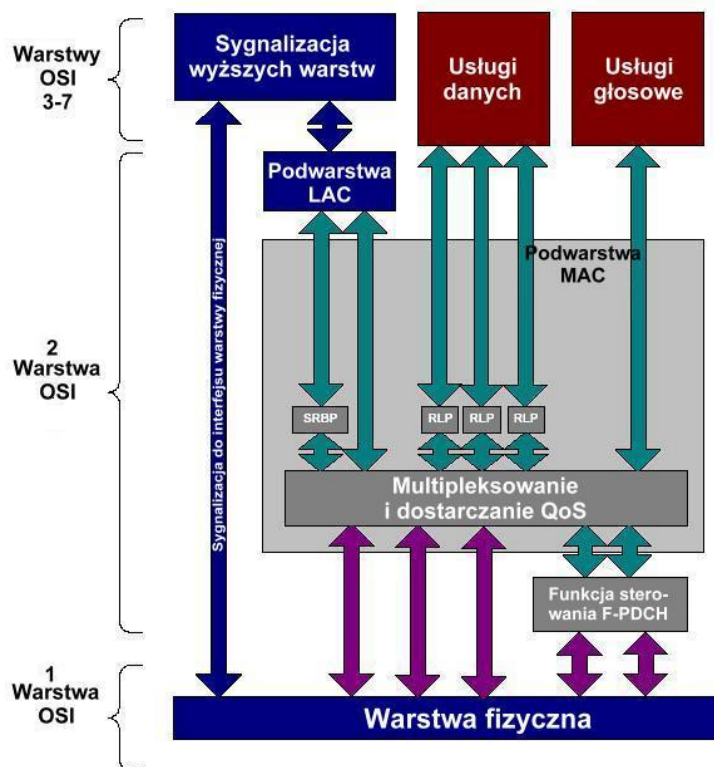
Radiową sieć dostępową (RAN) tworzą radiowe stacje bazowe (BS), sterownik (*Base Station Controller*) i funkcje nadzoru pakietów (*Packet Control Function*). BS spełniają funkcje punktów dostępowych, odpowiadają za przydział i zarządzanie kanałami radiowymi, koordynację handover, tłumienie echa i funkcje wokodera.

Sieć szkieletowa systemu CDMA2000 jest albo zgodna z normą ANSI-41, albo (zwłaszcza w pasmach częstotliwości 1800 MHz, 1900 MHz i 2110 MHz) z siecią szkieletową GSM z protokołem MAP.

Interfejs radiowy tego systemu, rys. 8, zdefiniowano w dwóch dolnych warstwach modelu OSI: w warstwie fizycznej (*Physical Layer, PHY*) [33] i warstwie łącza danych (*Data Link Layer*), która dzieli się na podwarstwę dostępu do medium (*Medium Access, MAC*) [34] oraz podwarstwę dostępu do łącza (*Link Access, LAC*) [35], w warstwie trzeciej i wyższych systemów cdma2000 używa się standardowych protokołów IETF, takich jak IP/TCP/UDP.

W wersji cdma2000 1x (Release B) usprawniono funkcje odbiornika stacji ruchomej, co skutkuje zwiększeniem pojemności sieci z ok. 26 Erlangów na sektor komórki do ok. 52 Erlangów.

W wersji cdma2000 1xEV-DV (*1x Evolution Data and Voice*) (Release C & D specyfikacji cdma2000 1x) zaprojektowano znacznie wydajniejszy mechanizm przesyłania danych do MS (*down link*). Wskutek zastosowania modulacji (16-QAM) można uzyskać maksymalną przepływność 3,1 Mbit/s i średnią przepływność na sektor rzędu 1,2-1,4 Mbit/s. Podobne mechanizmy adaptacyjne zostały również zaprojektowane dla łącza w górę, co skutkuje możliwością uzyskania w wersji 1x EV-DV maksymalnej szybkości rzędu 1,8 Mbit/s i ponad 600 kbit/s średnio.



Rys. 8: Model protokołów interfejsu radiowego systemów z rodziny CDMA2000

Cdma2000 1x EV-DO jest wersją systemu zoptymalizowaną dla transmisji danych zarówno do terminali ruchomych jak i stacjonarnych. W wersji Release 0 cdma2000 1xEV-DO oferuje w sieci ruchomej w kierunku stacji ruchomych maks. 2,4 Mbit/s i obsługuje takie wymagające aplikacje, jak wideo strumieniowe i przesyłanie dużych plików. Szybkość łącza w kierunku stacji bazowej zawiera się w granicach od 9,6 kbit/s do 153,6 kbit/s.

W wersji Release A maksymalna szybkość do MS wynosi do 3,1 Mbit/s, a do BS 1,8 Mbit/s, także pojemność komórki systemu w wersji Release A jest znacznie większa.

Łącza systemu 1x EV-DO do MS charakteryzuje:

- sygnał CDMA z podziałem czasowym,
- nadawanie z pełną mocą,
- zmienna szybkość 38,4 kbit/s do 2,4576 Mbit/s,
- adaptacyjne turbo kody o współczynniku $R=1/5$ lub $2/3$ i modulacja PSK, 8-PSK, 16-QAM;

natomiast łącza do BS tego systemu:

- koherentna demodulacja,
- zmienna szybkość transmisji 9,6 kbit/s do 153,6 kbit/s,
- regulacja mocy nadajnika w tzw. otwartej pętli i w zamkniętej pętli.

3. Stacjonarne systemy dostępowe nowej generacji

Szerokopasmowe, stacjonarne radiowe sieci dostępowe (*Broadband Fixed Wireless Access, BFWA*) są techniką znaną od dziesięcioleci. Z wielu względów rozwój tych sieci nie wykazuje dynamiki takiej jak rozwój sieci ruchomych. Jednakże również w dobie systemów ruchomych trzeciej generacji stacjonarne radiowe sieci dostępowe mogą oferować wiele

usług, na które istnieje lub może istnieć zapotrzebowanie. Wśród głównych zastosowań BFWA wymienia się [41]:

- dostęp do Internetu,
- łączenie sieci lokalnych i zdalny dostęp do sieci lokalnej,
- wideo-konferencje;
- wideo w czasie rzeczywistym;
- konwencjonalne usługi telekomunikacyjne (telefon, modem, faks).

Uwaga. Obok zastosowanego tu określenia "stacjonarny radiowy system dostępowy", BFWA, w publikacjach dotyczących systemów stacjonarnych pojawiają się określenia pokrewne:

- MMDS – dotyczy techniki dostarczania telewizji i Internetu za pomocą radiowego łącza mikrofalowego, bezpośrednio do domu klienta. Klient otrzymuje kodowany sygnał za pośrednictwem jednostki radiowej zintegrowanej z anteną (*set-top box*). W odróżnieniu od telewizji usługa może być dwukierunkowa z kanałem zwrotnym. Usługa jest oferowana w obrębie zasięgu optycznego (*line-of-site area*) do ok. 30 km od stacji nadawczej.
- LMDS – wersja MMDS z szerszym pasmem (dane o szybkości do 155 Mbit/s) oferowana za pomocą łącza na wyższych częstotliwościach (w zakresach częstotliwości do 42 GHz) niż MMDS. Określenie stosowane w USA.
- LMCS – oznacza to samo co LMDS. Określenie stosowane w Kanadzie.

Istotną cechą wybranego systemu dostępowego powinna być interoperacyjność urządzeń pochodzących od różnych producentów, polegająca na zgodności z powszechnie akceptowanym standardem.

Inną ważną właściwością jest efektywność wykorzystania widma częstotliwości radiowych [bit/Hz], której miarą jest liczba bitów oferowanych użytkownikom uzyskiwana z jednostki pasma kanału radiowego oraz dynamiczny, wg potrzeb użytkowników, przydział zasobów sieci.

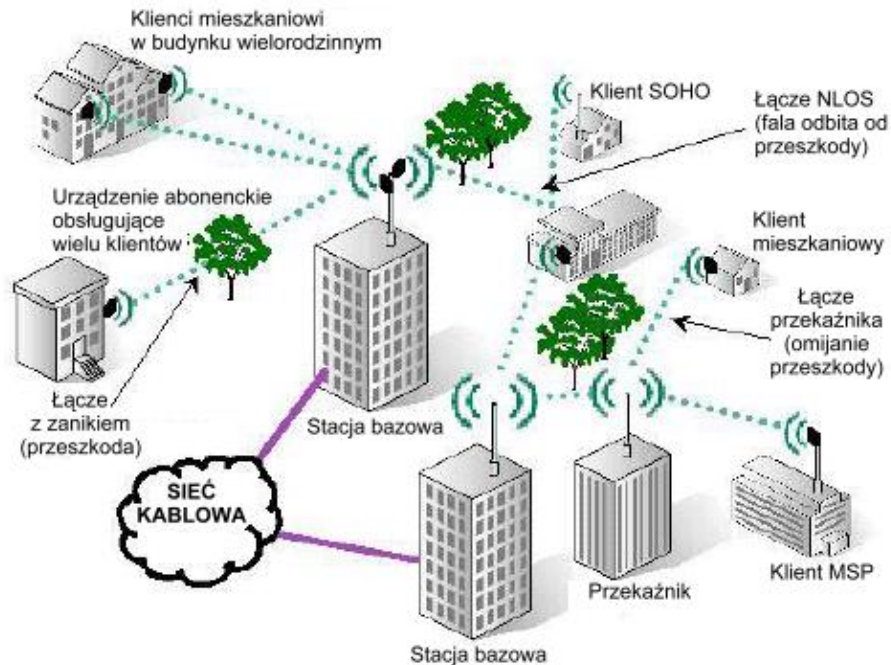
Kolejną pożądaną cechą takiego systemu jest łatwość instalacji urządzeń abonenckich, zwłaszcza możliwość stosowania urządzeń nie wymagających użycia anten montowanych na zewnątrz budynku. Warunek ten oznacza konieczność opracowania systemu funkcjonującego prawidłowo w warunkach braku bezpośredniej widoczności anten (NLOS), odpornego na zakłócenie powodowane propagacją wielodrogową.

Klasyczna sieć BFWA ma strukturę punkt do wielu punktów (PMP), w której wszystkie dane muszą być przesyłane za pośrednictwem stacji bazowej, która zarządza zasobami systemu. W sieci PMP mogą istnieć stacje przekaźnikowe i podsieci, rys. 9. Alternatywą jest struktura kratowa, w której możliwa jest bezpośrednia komunikacja między sąsiadującymi stacjami i wykorzystanie ich jako pośredniczących w kierowaniu ruchu do innych odległych węzłów sieci.

Na rys. 10 pokazano strukturę dwuwarstwową: niższa warstwa składa się z lokalnych sieci kratowych stworzonych przez stacje abonenckie, a wyższą tworzy szkielet łączący skupiska abonentów w jedną sieć PMP.

Rozwój stacjonarnych radiowych systemów dostępowych w ostatnich latach wiąże się nierozdzielnie z postępami prac międzynarodowej grupy ekspertów The IEEE 802.16 Working Group on Broadband Wireless Access Standards, utworzonej w tym celu przez zarejestrowane w USA stowarzyszenie Institute of Electrical and Electronics Engineers

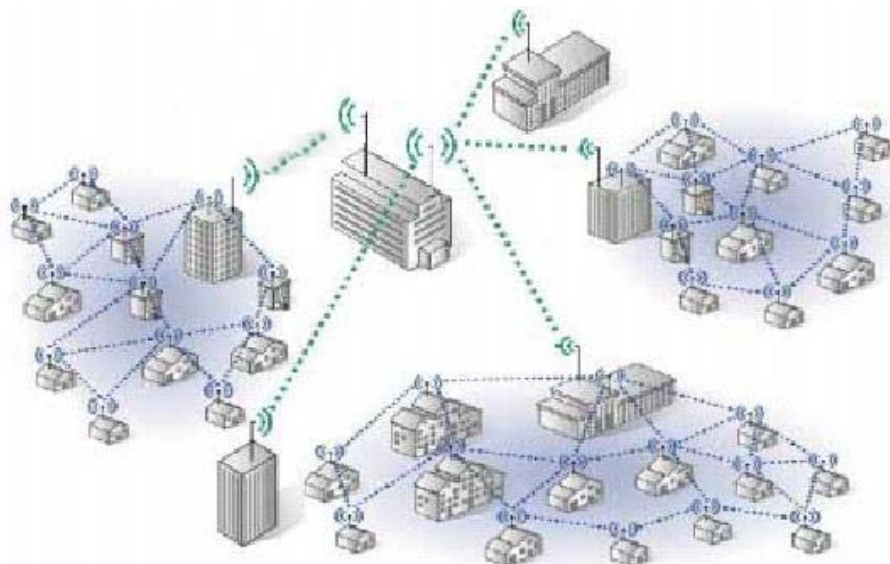
(IEEE). Opracowane przez tę grupę normy (*standards*) i przewodniki (*recommended practices*) z serii IEEE 802.16, dotyczące szerokopasmowych radiowych sieci metropolitalnych (*broadband Wireless Metropolitan Area Networks, WMAN*), stanowią pierwszą próbę standaryzacji tego rodzaju systemów w skali światowej.



Rys. 9: Przykład radiowej sieci dostępowej o strukturze punkt do wielu punktów

Legenda:

MSP – małe /średnie przedsiębiorstwo
SOHO – małe biuro / biuro domowe



Rys. 10: Przykład radiowej sieci dostępowej z wykorzystaniem sieci kratowych

3.1. Standardy z serii IEEE 802.16

3.1.1. System IEEE 802.16-2001

Opublikowany w 2001 r. pierwszy z serii standardów dotyczących radiowych sieci metropolitalnych IEEE 802.16-2001 [42], dotyczy systemu zaprojektowanego do stosowania w zakresie częstotliwości mikrofalowych $10 \div 66$ MHz. Zakres częstotliwości został wybrany ze względu na możliwości pozyskania kanałów o wymaganej szerokości pasma^{/*}. Jednakże jego wykorzystanie stwarza określone problemy techniczne, takie jak: wymaganie bezpośredniej widoczności anten, duże tłumienie fali w otwartej przestrzeni (które rośnie proporcjonalnie do częstotliwości wykorzystywanej fali nośnej), tłumienie trasy zależne od opadów atmosferycznych, a w niektórych pasmach częstotliwości tego zakresu również intensywne tłumienie przez gazy atmosferyczne.

Opracowując ww. specyfikację IEEE 802.16 zakładano, że radiowe stacje bazowe i stacje użytkowników są wyposażone w anteny zewnętrzne, rys. 9. Natomiast wewnątrz budynków będą instalowane sieci lokalne, Ethernet lub radiowe (WLAN).

Zatem system zdefiniowany tak jak w normie IEEE 802.16-2001 może być zastosowany:

- w instalacjach współużytkowanych w blokach mieszkalnych i biurach;
- do przyłączenia abonentów rozproszonych lub ułożonych w miejscach, gdzie wykonanie instalacji kablowej jest trudne lub nieopłacalne.

Oceniając szanse rynkowe tego rozwiązania należy stwierdzić, że usługi są adresowane do tej samej grupy użytkowników, której dotyczy oferta usług ADSL.

Cechą pożądaną, która może zdecydować o wyborze WMAN zamiast kabli jest możliwość bezpośredniego dostępu sieci radiowej do mieszkań indywidualnych użytkowników. Drugim istotnym walorem sieci radiowej jest ograniczona mobilność terminali wewnątrz i na zewnątrz budynków. Jednakże w zakresie częstotliwości $10 \div 66$ MHz, gdzie wymaga się widoczności optycznej (LOS), spełnienie tych warunków jest praktycznie niemożliwe.

Specyfikacja warstwy fizycznej (PHY) IEEE 802.16-2001

Ze względu na stosowaną architekturę – sieć punkt do wielu punktów przyjęto, że stacja bazowa (BS) powinna pracować w trybie z podziałem czasowym (TDM), a stacje abonenckie (TS) powinny korzystać z przydzielonych szczelin czasowych. Transmisję dwupięsową zaproponowano w dwóch wersjach:

- w dziedzinie czasu (TDD), w której nadajniki BS i TS pracują w tym samym kanale radiowym, ale nie równocześnie;
- w dziedzinie częstotliwości (FDD), w której nadajniki BS i TS pracują w różnych kanałach i ewentualnie mogą nadawać jednocześnie. Przy czym w przypadku FDD, w celu zmniejszenia kosztu terminali^{/*} założono, że stacje abonenckie mogą pracować w półduplesie, tzn. korzystają do nadawania i odbioru z różnych częstotliwości, ale nie mogą w tym samym czasie nadawać i odbierać.

W obu wersjach FDD i TDD zastosowano adaptacyjny system wyboru modulacji i kodowania, indywidualny dla każdej stacji abonenckiej (TS), definiowany w kolejnych ramach. W ten sposób system 802.16 w korzystnych warunkach efektywnie wykorzystuje pasmo (efektywność obliczana w bit/Hz) i automatycznie zmienia parametry ustawiając mniej

^{/*} Rezerwacje częstotliwości dla systemów LMDS.

^{/*} Jeżeli nie wymaga się jednoczesnego nadawania i odbioru, to urządzenie radiowe można uprościć, eliminując filtry włączane pomiędzy anteną a wejściem odbiornika i wyjściem nadajnika, tzw. duplekser.

efektywne, ale bardziej niezawodne parametry łącza, gdy pojawiają się zakłócenia tak, aby uzyskać planowaną dostępność łącza 99,999%.

Odporność systemu na zakłócenia ma zapewnić korekcja błędów, do której stosuje się kody Reeda-Salomona o zmiennej długości bloku i różnych możliwościach korekcji oraz kodowanie splotowe. Oprócz wyboru kodu możliwy jest wybór rodzaju modulacji spośród następujących: QPSK, 16-QAM i 64-QAM, tab. 9.

Tab. 9: Możliwość wyboru parametrów transmisji w systemie 802.16-2001

Modulacja	Wielkość bloku niekodowanego (bajtów)	Wielkość bloku kodowanego (bajtów)	Współczynnik kodowania	Kod Reeda-Salomona	Współczynnik kodu splotowego
QPSK	24	48	1/2	(32, 24, 4)	2/3
QPSK	36	48	3/4	(40, 36, 2)	5/6
16-QAM	48	96	1/2	(64, 48, 8)	2/3
16-QAM	72	96	3/4	(80, 72, 4)	5/6
64-QAM	96	144	2/3	(108, 96, 6)	3/4
64-QAM	108	144	3/4	(120, 108, 6)	5/6

Przy kształtowaniu impulsów nadajnika za pomocą filtru Nyquista (*square-root raised-cosine pulse shaping*) o współczynniku 0,25, w kanale radiowym o szerokości odpowiednio 20 MHz, 25 MHz, 28 MHz, zależnie od wybranej modulacji, można uzyskać szybkości transmisji jak podano w tab. 10.

Tab. 10: Szybkości transmisji 802.16 w zależności od pasma kanału radiowego

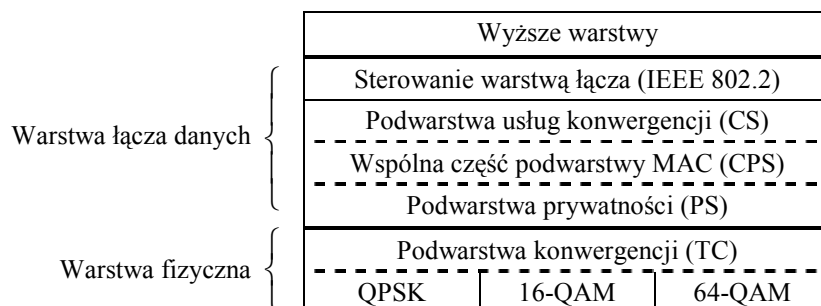
Szerokość kanału [MHz]	Szybkość symboli [Msym/s]	Rodzaj modulacji		
		QPSK	16-QAM	64-QAM
		Szybkość bitowa [Mbit/s]	Szybkość bitowa [Mbit/s]	Szybkość bitowa [Mbit/s]
20 (USA)	16	32	64	96
25 (USA)	20	40	80	120
28 (Europa)	22,4	44,8	89,6	134,4

W systemie mogą być używane ramki o długości 0,5 ms, 1 ms lub 2 ms. Ramka jest dzielona na szczeliny, które reprezentują kanały fizyczne. Czas szczeliny jest definiowany jako czas czterech symboli QAM.

W wariacie TDD podramka nadajnika stacji abonenckiej następuje po ramce nadajnika stacji bazowej, przy czym nadawane są na tej samej częstotliwości.

W wersji FDD podramki nadajnika TS i BS są nadawane na różnych częstotliwościach i mogą występować jednocześnie.

Ze względu na dynamiczne zmiany wymaganej szerokości pasma i zmienną długość ramek, stacje abonenckie muszą śledzić nagłówki wszystkich podramek.



Rys. 11: Stos protokołów dla systemu 802.16-2001

Stos protokołów dla systemu 802.16-2001 przedstawia rys. 11. Pomędzy warstwą fizyczną (PHY), a podwarstwą dostępu do medium (MAC) znajduje się podwarstwa konwergencji (TC) dokonująca transformacji zmiennej długości jednostek danych protokołów MAC na jednostki o stałej długości stosowane w warstwie PHY.

Zadaniem MAC jest dostosowanie systemu 802.16 do istniejących usług sieciowych, z tego względu w specyfikacji przewidziano możliwości adaptacji do potrzeb transmisji ATM i do transmisji pakietowej. Zgodność z ATM jest potrzebna ze względu na usługi DSL (*Digital Subscriber Line*) i usługi telefoniczne. Natomiast transmisja pakietowa jest wykorzystywana do oferowania usług opartych na protokołach IPv4, IPv6, Ethernet i VLAN.

Aby uzyskać tę możliwość warstwę MAC podzielono na trzy podwarstwy odpowiedzialne za poszczególne usługi:

- podwarstwa konwergencji (CS),
- podwarstwa prywatności (PS),
- wspólna część MAC (CPS).

802.16-2001 realizuje dwie opcje QoS. Jednostka abonencka (TS) może uzyskać przydział pasma lub udostępniane pasmo może być negocjowane indywidualnie przy każdym połączeniu między BS i TS. Te możliwości wyboru umożliwiają zróżnicowanie usług i obsługę połączeń wymagających stałego pasma (ATM) obok ruchu IP.

Protokół jest na tyle elastyczny, że zezwala aby jedna TS jednocześnie realizowała połączenia ATM i była wykorzystywana przez określoną liczbę użytkowników IP.

Szczegółowy opis protokołów wykracza poza ramy tej pracy.

3.1.2. System IEEE 802.16a-2003

Dokument IEEE 802.16a-2003 [43] jest rozszerzeniem podstawowej specyfikacji IEEE 802.16-2001, dotyczącym zakresu częstotliwości od 2 GHz do 11 GHz. Ze względu na charakterystyki kanałów radiowych w tym zakresie częstotliwości jest możliwa realizacja połączeń bez bezpośredniej widoczności anten (NLOS), np. pomiędzy stacją bazową a terminalem znajdującym się wraz z anteną wewnątrz pomieszczenia, albo terminalem z anteną zewnętrzną, ale umieszczoną nisko nad dachem. Dlatego ta wersja systemu jest bardziej przydatna do realizacji sieci dostępowej dla klientów z dzielnic mieszkaniowych i dla małego biznesu. Ze względu na potencjalne możliwości budowy dostępowych sieci abonenckich urządzenia przeznaczone do stosowania w tym zakresie częstotliwości są przedmiotem szczególnej uwagi producentów urządzeń i WiMAX Forum, por. punkt. 3.2.

Możliwość stosowania systemu dostępu radiowego bez bezwzględnej konieczności spełnienia warunku bezpośredniej widoczności jest istotna przede wszystkim ze względu na koszty instalacji abonenckiej dla indywidualnego użytkownika. Instalacja anten zewnętrznych na

wysokich masztach jest bardzo kosztowna i często niewykonalna ze względu na przepisy dotyczące ochrony środowiska i inne. Jeżeli stacjonarny radiowy system dostępowy ma konkurować z innymi radiowymi systemami dostępowymi np. UMTS (W-CDMA), to stacja abonenta ma być produktem tanim i o niskich kosztach eksploatacji.

Charakterystyki systemu wg specyfikacji 802.16a są następujące:

- optymalizacja zasięgu do 40 km,
- obsługa użytkowników rozproszonych w różnej odległości od BS,
- tolerancja większego opóźnienia spowodowanego wielodrogowością (odbiciami sygnałów),
- optymalizacja dla łączy NLOS,
- opcja obsługi sieci o strukturze kratowej,
- opcja obsługi zaawansowanych technik antenowych.

Skutkiem założenia, że system dostępowy ma pracować w środowisku mieszkaniowym, jest konieczność zaprojektowania dużej tolerancji dla opóźnienia sygnału spowodowanego wielodrogowością i możliwość stosowania terminali w miejscach bez bezpośredniej widoczności anten (nisko zawieszone anteny TS, przesłonięte np. przez drzewa lub anteny wewnątrz pomieszczeń).

Zaproponowano trzy wersje warstwy fizycznej interfejsu radiowego:

- SC (*single carrier*) z pojedynczą nośną modulowaną BPSK, QPSK, 16-QAM, 64-QAM, lub 256-QAM; z wielodostępem TDMA, dupleksem TDD lub FDD.
- OFDM z 256 podnośnymi OFDM. Z wielodostępem TDMA, dupleksem TDD lub FDD. Ten interfejs jest obowiązkowy w systemach przeznaczonych do stosowania w pasmach częstotliwości nie objętych obowiązkiem uzyskiwania licencji.
- OFDMA z 2048 podnośnymi. W tej wersji wielodostęp jest realizowany przez przydział dla potrzeb danej TS podzbioru podnośnych. Równocześnie używany jest wielodostęp TDMA. Duplex TDD lub FDD.

Mimo, że w standardzie zdefiniowano trzy wersje interfejsu radiowego większość producentów, ze względu na odporność tego rodzaju transmisji na zakłócenia propagacyjne w środowisku NLOS, skoncentrowała się na wdrożeniach wersji z 256 podnośnymi OFDM.

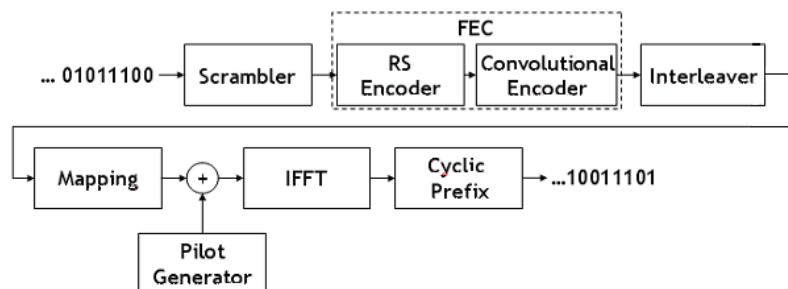
Cechą wyróżniającą system OFDM opisany w IEEE 802.16a są mechanizmy pozwalające na jego wykorzystanie w różnych warunkach środowiskowych i różnych pasmach częstotliwości:

- możliwość stosowania w kanałach radiowych o różnej szerokości (np. 3,5 MHz, 5 MHz, 7 MHz);
- adaptacyjny wybór parametrów transmisji;
- korekcja błędów polegająca na składaniu kodowania Reeda-Salomona i kodowania splotowego, ponadto opcje turbo kodów blokowych i turbo kodów splotowych;
- dla zwiększenia zasięgu i pojemności sieci opcja zaawansowanych (inteligentnych) anten (*smart antenna*), polegająca na kodowaniu przestrzenno-czasowym dla udoskonalenia właściwości w środowisku z zanikami metodą wykorzystania przestrzennego odbioru zbiorczego (*spatial diversity*);
- dynamiczny wybór częstotliwości, który ma ułatwić unikanie zakłóceń.

Możliwość wyboru różnych szerokości pasma pozwala dostosować urządzenia zgodne ze standardem 802.16a do regionalnych planów częstotliwości. Dodatkowymi mechanizmami,

zaprojektowanymi w warstwie fizycznej, jest regulacja mocy nadajnika i pomiar jakości kanału.

Uproszczony schemat blokowy nadajnika systemu IEEE 802.16a przedstawiono na rys. 11.



Rys. 11: Schemat blokowy nadajnika systemu OFDM

Legenda:

- Scrambler – skrambler
- RS Encoder – koder Reeda-Salomona
- Convolutional Encoder – koder spłotowy
- FEC – kodowanie dla korekcji błędów
- Interleaver – przeplot
- Mapping – odwzorowanie QAM
- Pilot Generator – generator pilota
- Cyclic Prefix – cykliczny prefiks

Możliwości wyboru parametrów transmisji, modulacji i kodowania w systemie 802.16a są takie same jak w systemie 802.16-2001.

Podstawowe parametry sygnału nadajnika OFDM zestawiono w tab. 10, tab. 11.

Założono czas ochronny $T_g = 1/32$. Uwzględniono nadmiar kodowy warstwy fizycznej, ale nie uwzględniono nadmiaru kodowego MAC i preambuły.

Tab. 10: Parametry sygnału OFDM

Liczba podnośnych / liczba aktywnych podnośnych	256 / 200
Stosunek czasu cyklicznego prefiksu do długości symbolu OFDM	1/4, 1/8, 1/16, 1/32
Liczba podnośnych ochronnych poniżej / powyżej pasma sygnału	28 / 27
Podnośne pasm ochronnych (o amplitudzie równej 0)	-128, -127, ..., -101, +101, +102, ..., +127
Podnośne pilotów	-88, -63, -38, -13, +13, +38, +63, +88

Uwaga. Podnośna o numerze 0, o częstotliwości fali nośnej, ma amplitudę równą 0.

Tab. 11: Szybkości danych uzyskiwane zależnie od szerokości pasma kanału radiowego

Modulacja Współczynnik kodu	QPSK 1/2	QPSK 3/4	16-QAM 1/2	16-QAM 3/4	64-QAM 2/3	64-QAM 3/4
1,75 MHz	1,04	2,18	2,91	4,36	5,94	6,55
3,5 MHz	2,08	4,37	5,82	8,73	11,88	13,09
7,0 MHz	4,15	8,73	11,64	17,45	23,75	26,18
10,0 MHz	8,31	12,47	16,63	24,94	33,25	37,40
20,0 MHz	16,62	24,94	33,25	49,87	66,49	74,81

Generator pilota wytwarza nośne OFDM, które po stronie odbiornika są używane do estymacji charakterystyki częstotliwościowej kanału. Nośne te są modulowane binarnym ciągiem pseudolosowym. W każdej ramce ciąg ten zaczyna się od ustalonej wartości.

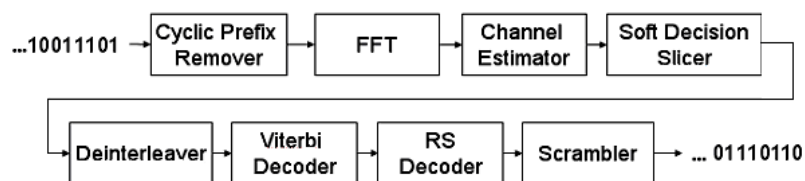
Odwzorowanie QAM kojarzy symbole modulacji z ciągiem binarnym generowanym przez blok przeplotu. Możliwe są następujące sposoby odwzorowania:

- QPSK;
- 16-QAM;
- 64-QAM (opcja),

a dla nośnej pilota BPSK.

Blok IFFT realizuje odwrotną transformatę Fouriera. Na jego wyjściu powstaje wektor składający się z $N = 256$ elementów, a ponieważ każdy element jest liczbą zespoloną, blok IFFT generuje wektor $2N$ elementowy.

Elementy schematu blokowego odbiornika, rys. 12, mają odpowiedniki w elementach schematu nadajnika.



Rys. 12: Schemat blokowy odbiornika systemu OFDM

Legenda:

Cyclic Prefix Remover	– cykliczny prefiks
FFT	– transformata Fouriera
Channel Estimator	– estymator kanału
Soft Decision Slicer	– programowy
Deinterleaver	– odwrócenie przeplotu
Viterbi Decoder	– dekodery Viterbi
RS Decoder	– dekodery Reeda-Salomona
Scrambler	– skrambler

Istotnym elementem odbiornika jest blok estymacji parametrów kanału (*channel estimator*), który ocenia kanał w celu kompensacji zniekształceń. Najpierw mierzy parametry na częstotliwościach pilotów, a następnie aproksymuje odpowiedź kanału w całym paśmie metodą interpolacji. Dane te służą do wyrównywania opóźnień składowych sygnału przed dekodowaniem i demodulacją.

Wymagane poziomy czułość odbiornika przedstawiono w tab. 12 [43].

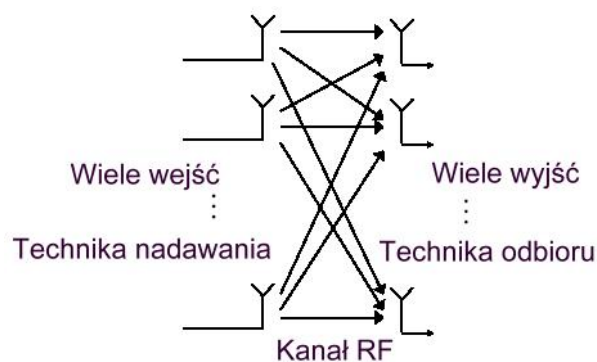
Opcja wielu anten

W systemie 802.16a jest możliwe zastosowanie urządzeń z wieloma antenami. Należy brać pod uwagę dwa warianty:

- adaptacyjny system antenowy BS o formowanej charakterystyce kierunkowej,
- system z multiplikacją anten i bloków wejścia-wyjścia RF zarówno do nadawania, jak do odbioru (MIMO), rys. 13.

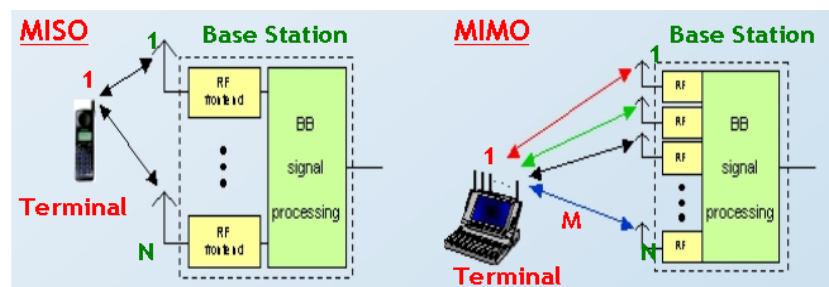
Tab. 12: Poziom czułości odbiornika [dBm]

Szerokość pasma [MHz]	QPSK		16-QAM		64-QAM	
	1/2	3/4	1/2	3/4	2/3	3/4
1,5	-91	-89	-84	-82	-78	-76
1,75	-90	-87	-83	-81	-77	-75
3,0	-88	-86	-81	-79	-75	-73
3,5	-87	-85	-80	-78	-74	-72
5	-86	-84	-79	-77	-72	-71
6	-85	-83	-78	-76	-72	-70
7	-84	-82	-77	-75	-71	-69
10	-83	-81	-76	-74	-69	-68
12	-82	-80	-75	-73	-69	-67
14	-81	-79	-74	-72	-68	-66
20	-80	-78	-73	-71	-66	-65



Rys. 13: System z multiplikacją anten i bloków wejścia-wyjścia (MIMO)

Systemy MIMO są na razie przedmiotem prac teoretycznych, które wskazują na ogromne możliwości zwiększenia pojemności sieci wyposażonej w tego rodzaju stacje. W tym przypadku można wyróżnić sposób polegający na stosowaniu wielu anten BS i pojedynczej anteny terminala, tzw. schemat MISO, oraz sposób polegający na użyciu wielu anten zarówno w miejscu BS jak i terminala MIMO, por. rys. 14.



Rys. 14: Schematy blokowe systemów MISO i MIMO

Legenda:

BB signal processing – przetwarzanie sygnału w paśmie podstawowym

MIMO – Multiple Input Multiple Output (wielowejsiowy wielowejsiowy)

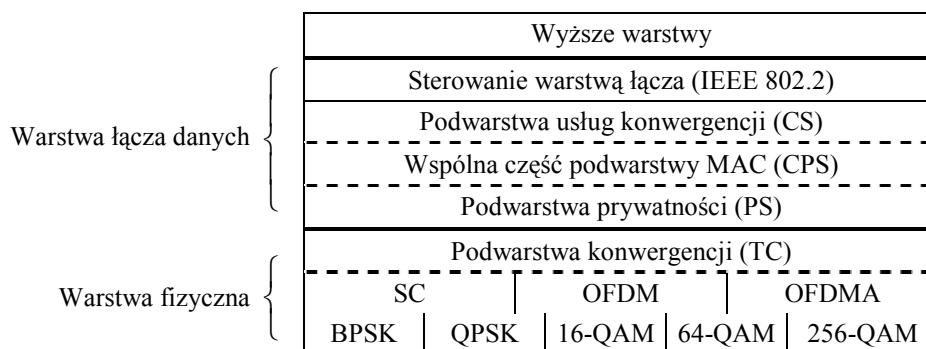
MISO – Multiple Input Single Output (wielowejsiowy z jednym wyjściem)

RF – blok częstotliwości radiowej

Zastosowanie tych opcjonalnych rozwiązań umożliwia:

- zwiększenie przepływności komórki (na skutek tłumienia zakłóceń uzyskiwanego przez adaptację anten);
- zmniejszenie wymaganej mocy, na skutek formowania wąskiej charakterystyki promieniowania;
- odporność na zakłócenia kanałowe (odbiór przestrzenny w systemach MIMO i MISO);
- zwiększenie uzyskiwanej przepływności dla pojedynczego użytkownika, na skutek użycia bloków MIMO.

Stos protokołów dla interfejsu radiowego 802.16a przedstawiono na rys. 15. Jest on rozszerzoną wersją 802.16, przedstawionego na rys. 11.



Rys. 15: Stos protokołów dla systemu 802.16a

W wersji OFDM wszystkie nośne są nadawane jednocześnie z tą samą amplitudą. W wersji OFDMA nośne są pogrupowane w N_G grup, z których każda ma N_E nośnych i N_E podkanałów.

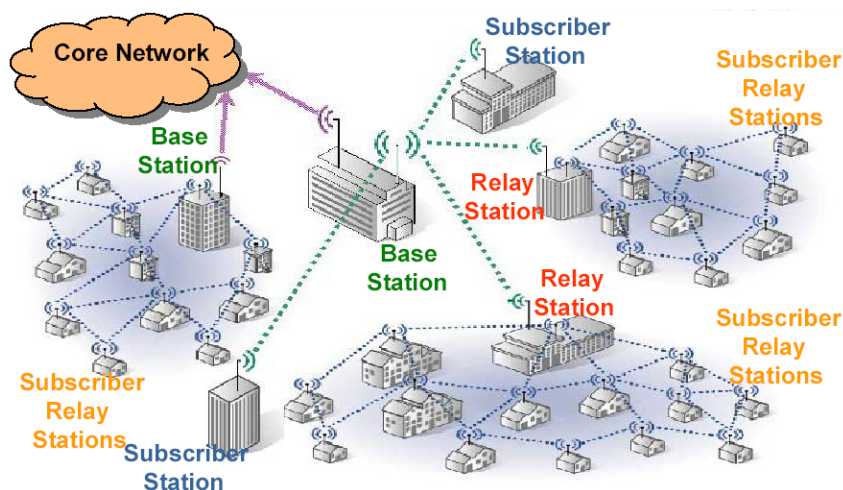
W 802.16a w kierunku do TS stosuje się transmisję TDM, a w kierunku do BS TDMA. Ponieważ w systemie stacjonarnym lokalizacje terminali są znane, to można zastosować algorytmy dostosowujące moc do parametrów terminala.

Inne właściwości warstwy MAC systemu 802.16a:

- skalowalność – od jednego do setek użytkowników;
- zorientowana połączeniowo (*connection oriented*), umożliwia definiowanie QoS dla połączenia, szybszy ruting pakietów;
- automatyczne żądanie retransmisji (ARQ) ukrywa błędy warstwy fizycznej przed wyższymi warstwami sieci;
- adaptacyjny wybór modulacji umożliwia optymalne wykorzystanie kanału;
- bezpieczeństwo i szyfrowanie (potrójny DES) zapewnia prywatność;
- automatyczna regulacja mocy minimalizuje zakłócenia wspólnokanałowe w sieci.

Istotną różnicę względem wersji podstawowej systemu stanowi automatyczne żądanie retransmisji (*Automatic Retransmission Request, ARQ*).

Kolejną różnicą jest możliwość pracy w sieci kratowej, rys. 16. W sieci kratowej stacje abonenckie komunikują się nie tylko ze stacją bazową, ale także bezpośrednio między sobą. W sieci kratowej wszystkie stacje w sąsiedztwie muszą koordynować swoje okresy nadawania.



Rys. 16: Koncepcja wykorzystania systemu 802.16a w sieci kratowej

Obsługa użytkowników nomadycznych

Interfejs 802.16a ma opcję pozwalającą na uwzględnienie zmiany w kanale, która polega na częstszym nadawaniu preambuły (*preamble*), nazwanej w tym przypadku (*mid-amble*). Symulacja wskazuje, że przy jej powtarzaniu częściej niż co 10 symboli danych, system obsługuje terminale przemieszczające się z szybkością do 150 km/h.

3.1.3. Standard IEEE 802.16-2004

Opracowując standard IEEE 802.16-2004 [44] poprawiono, uzupełniono i scalono w jednym dokumencie postanowienia opublikowane wcześniej w IEEE 802.16-2001, IEEE 802.16a-2003 oraz IEEE 802.16c-2002. Publikację tę obecnie uznaje się powszechnie jako podstawę do definiowania charakterystyk, projektowania i wdrażania radiowego systemu dostępowego służącego do obsługi użytkowników stacjonarnych i nomadycznych, znanego pod nazwą WiMAX, por. punkt 3.2.

Standard ten definiuje interfejs radiowy systemu WMAN, opracowany przy założeniu, że zasięg użyteczny tego rodzaju transmisji wynosi kilka a nawet kilkanaście kilometrów. Radiowa sieć metropolitalna powinna zapewnić dostęp w budynkach jako alternatywę dla sieci kablowych.

W IEEE 802.16-2004 warstwę MAC zaprojektowano do obsługi sieci metropolitalnej (WMAN) o strukturze punkt do wielu punktów i opcjonalnie sieci kratowej. Zdefiniowano różne wersje warstwy fizycznej odpowiednie do stosowania w specyficznych warunkach środowiskowych. Do wykorzystywania w zakresie częstotliwości od 10 GHz do 66 GHz zaprojektowano system oparty na modulacji pojedynczej fali nośnej. Do używania w zakresie częstotliwości poniżej 11 GHz, w którym system powinien być przystosowany do pracy bez bezpośredniej widoczności anten, zaprojektowano trzy wersje warstwy fizycznej: OFDM, OFDMA oraz modulację pojedynczej fali nośnej.

Zatem systemy radiowe zgodne ze specyfikacją IEEE 802.16-2004, nazywane powszechnie systemami WiMAX^{/*}, są przeznaczone do budowy dostępowych sieci stacjonarnych, zastępujących pod względem funkcjonalnym przewodowe technologie DSL. Mogą być też wykorzystywane w sieciach szkieletowych, np. do przyłączenia stacji bazowych systemów

^{/*} Nazwa WiMAX bywa również używana w odniesieniu do produktów zgodnych ze specyfikacją IEEE 802.16a-2003. Jednakże w kontekście zasad certyfikacji stosowanych przez WiMAX Forum polegających na potwierdzeniu zgodności ze specyfikacją IEEE 802.16-2004, wcześniejsze produkty są nazywane "pre-WiMAX".

komórkowych oraz "hotspot" sieci Wi-Fi, a także do oferowania dzierżawionych łączy transmisji danych.

WiMAX jest techniką oferowaną operatorom sieci teleinformatycznych. Wielu operatorów obecnie prowadzi lub planuje w najbliższych miesiącach testy urządzeń tego systemu. Decyzje są opóźnione ze względu na przedłużające się badania certyfikacyjne prowadzone przez CETECOM w imieniu WiMAX Forum, por. punkt 3.2.

Dostępne urządzenia są przeznaczone do obsługi radiowego dostępu stacjonarnego i nomadycznego w środowisku z bezpośrednią widocznością (LOS) pomiędzy antenami stacji bazowej i urządzenia abonenckiego (*Customer Premises Equipment, CPE*) oraz w środowisku bez bezpośredniej widoczności (NLOS). W 2005 r. na rynku oferowano urządzenia przeznaczone do stosowania w pasmach częstotliwości 3,5 GHz i 5,8 GHz z modulacją 256 nośnych OFDM.

Wybrane parametry wg 802.16-2004 przedstawiono w tab. 13, tab. 14 i tab. 15.

Tab. 13: Szybkość transmisji w Mbit/s dla współczynnika kształtu $\alpha = 0,25$

Rodzaj modulacji i współczynnik kodu	Kanał 7 MHz (ETSI)
BPSK 1/2	2,59
BPSK 3/4	3,89
QPSK 1/2	5,18
QPSK 2/3	6,91
QPSK 3/4	7,77
QPSK 5/6	8,64
QPSK 7/8	9,07
16-QAM 1/2	10,37
16-QAM 3/4	15,55
64-QAM 2/3	20,73
64-QAM 5/6	25,91
256-QAM 3/4	31,10
256-QAM 7/8	36,28

Tab. 14: Szybkość transmisji netto [Mbit/s] wg 802.16-2004

	T_g	BPSK 1/2	QPSK 1/2	QPSK 3/4	16-QAM 1/2	16-QAM 3/4	64-QAM 2/3	64-QAM 3/4
Kanał 7 MHz (ETSI)	$T_b/32$	2,92	5,82	8,73	11,64	17,45	23,27	26,18
	$T_b/16$	2,82	5,65	8,47	11,29	16,94	22,59	25,41
	$T_b/8$	2,67	5,33	8,00	10,67	16,00	21,33	24,00
	$T_b/4$	2,40	4,80	7,20	9,60	14,40	19,20	21,60

Tab. 15: Rodzaje dostępu w sieci WiMAX

Cecha	Urządzenie	Lokalizacja	Handoff	802.16-2004	802.16e
Dostęp stacjonarny	CPE wewnątrz lub na zewnątrz	pojedyncza, stacjonarna	nie	tak	tak
Dostęp nomadyczny	CPE wewnątrz, karty PCMCIA	wiele miejsc, stacjonarna	nie	tak	tak
Przenośność (<i>portability</i>)	Laptop z kartą PCMCIA	wiele miejsc, szybkość pieszego	"twarde"	nie	tak
Ograniczona mobilność	Laptop z kartą PCMCIA, PDA	wiele miejsc, mała szybkość pojazdu	"twarde"	nie	tak
Pełna mobilność	Laptop, PDA, telefon	wiele miejsc, duża szybkość pojazdu	"miękkie"	nie	tak

3.1.4. Standard IEEE 802.16e

Jako cel projektu normy IEEE 802.16e [45] postawiono zdefiniowanie szerokopasmowego systemu oferującego możliwość obsługi urządzeń stacjonarnych, przenośnych i ruchomych (noszonych lub używanych w pojeździe). Zaproponowany^{/*} system, nazywany często "mobile WiMAX", pod względem podstawowych charakterystyk interfejsu radiowego nie jest kompatybilny z systemem zdefiniowanym w normie 802.16-2004. Tym samym nie ma możliwości zbudowania sieci zgodnej ze specyfikacją 802.16-2004, a następnie jej zmodernizowania do wersji 802.16e.

Specyfikacja 802.16e, podobnie jak inne z tej serii, obejmuje tylko opis warstwy fizycznej (PHY) i dostępu do medium (MAC). Zagadnienia sterowania połączeniami, zarządzania sesją, bezpieczeństwa, architektury sieci, roamingu pozostawiono do zdefiniowania przez WiMAX Forum, które utworzyło grupę roboczą ds. architektury w 2004 r.

System w wersji IEEE 802.16e zoptymalizowano dla potrzeb stosowania w kanałach radiokomunikacji ruchomej, co nie wyklucza stosowania w sieciach stacjonarnych. Ze względu na dynamiczne zmiany charakterystyk tego rodzaju kanału zastosowano odmianę modulacji OFDMA nazwaną *SOFDMA* (*Scalable Orthogonal Frequency Division Multiplexing Access, Scalable, OFDMA*), w której liczba fal nośnych jest zmienna dla minimalizacji zakłóceń w urządzeniach abonenckich. Na skutek wyboru SOFDMA system IEEE 802.16e jest niekompatybilny z innymi systemami z serii IEEE 802.16.

Ze względu na przeznaczenie oraz z zasady brak widoczności anten system powinien pracować w zakresach częstotliwości poniżej 6 GHz. Jednakże dotychczas nie określono zakresów częstotliwości dla tego systemu. Analizy dotyczą pozyskania częstotliwości pomiędzy 2,3 GHz a 2,7 GHz.

System IEEE 802.16e może być wykorzystywany w strukturach z multiplikowanymi jednostkami nadawczymi i odbiorczymi, MIMO (*Multiple Input Multiple Output*) i adaptacyjnymi systemami antenowymi (*Adaptive Antenna Systems, AAS*). Obsługuje: roaming między sieciami, a także "twarde" i "miękkie" handoff w obrębie sieci, ulepszone tryby oszczędnego zasilania urządzeń ruchomych i różne techniki zabezpieczeń. Z tego względu konstrukcja produktów 802.16e jest bardziej złożona niż 802.16-2004.

Uwagi. 1. "Handoff" – przenoszenie połączenia między sąsiednimi stacjami bazowymi. "Twarde" polega na przerywaniu połączenia istniejącego przed zestawieniem nowego. Urządzenie użytkownika w danym momencie może być połączone tylko z jedną stacją bazową.

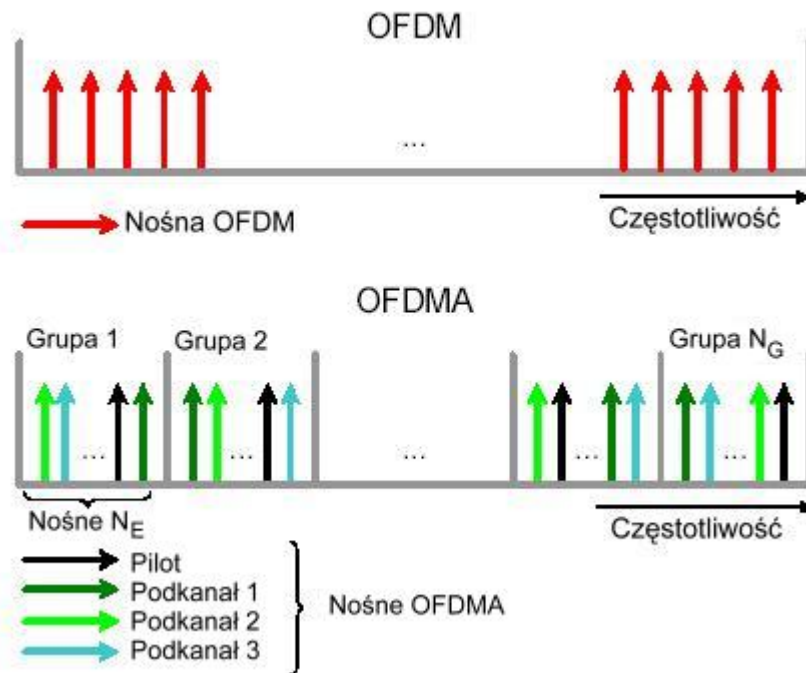
^{/*} W 2005 r. norma IEEE 802.16e była dostępna tylko jako projekt (draft). Wg informacji prasowych w IEEE ostateczną wersję dokumentu przyjęto 7 grudnia 2005 r.

powoduje to przerwę w komunikacji i oczekiwanie na odtworzenie połączenia, jednak realizacja jest prostsza niż przenoszenia "miękkiego", w zasadzie nie przeszkadza w takich aplikacjach jak dostęp do bazy danych, przesyłanie plików danych. "Miękkie" polega na możliwości zachowania istniejącego połączenia do czasu uzyskania nowego i nie powoduje przerwy w komunikacji – pożądane w przypadku usług czasu rzeczywistego (np. VoIP).

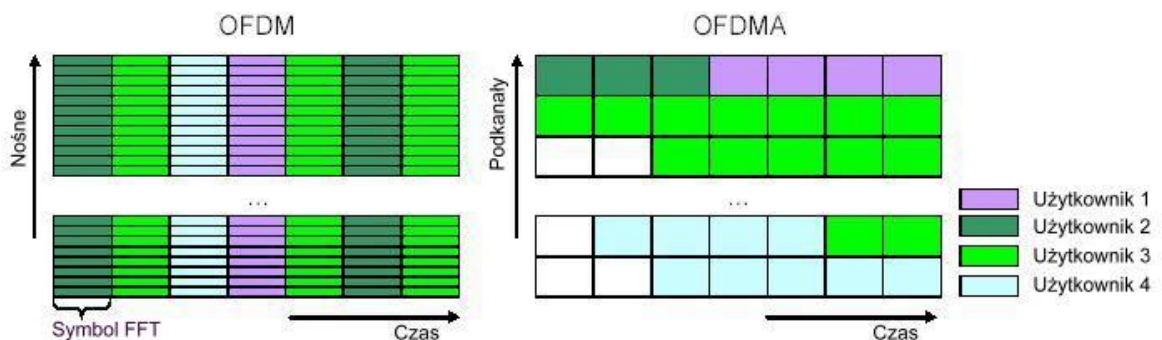
S-OFDMA zastosowano zarówno w łączu do stacji abonenckich jak i do stacji bazowej. Liczba nośnych dla jednego użytkownika może się zmieniać od 128 do 2048. Wiele użytkowników może nadawać jednocześnie korzystając z przydzielonej grupy fal nośnych. Także format ramki 802.16e jest inny, co sprawia, że wersje WiMAX nie mogą ze sobą współpracować.

Podstawowa różnica pomiędzy systemami 802.16-2004 i 802.16e wynika z zastosowanej techniki modulacji: w 802.16-2004 zastosowano OFDM, a w 802.16e OFDMA.

W sygnale OFDM 802.16 każdy symbol w dziedzinie częstotliwości składa się z 200 nośnych przenoszących dane użytkownika oraz 8 nośnych stanowiących sygnały pilotujące, por. tab. 10. W sygnale OFDM wszystkie nośne są nadawane jednocześnie z tą samą amplitudą.



Rys. 17: Porównanie modulacji OFDM z OFDMA w dziedzinie częstotliwości



Rys. 18: Porównanie modulacji OFDM z OFDMA w dziedzinie czasu

W sygnale OFDMA zbiór nośnych jest dzielony na N_G grup, z których każda zawiera N_E nośnych oraz na N_E podkanałów, każdy reprezentowany przez jedną nośną w każdej z grup, rys 17 i rys. 18.

Np. w OFDMA z 2048 nośnymi $N_E = 32$ a $N_G = 48$ dla łącza w kierunku stacji abonenckich i $N_E = 32$ a $N_G = 53$ dla łącza w kierunku stacji bazowej, a pozostałe nośne są wykorzystywane jako sygnały pilotujące, albo mają amplitudę zero i tworzą pasma ochronne. Kodowanie, modulacja i amplitudy nośnych, w celu optymalnego wykorzystania zasobów sieci, są ustawiane osobno dla każdego podkanału zależnie od warunków w kanale radiowym danego użytkownika.

System 802.16e jest bardziej skomplikowany, ale umożliwia dostosowanie sposobu transmisji, w tym mocy nadajnika, do różnych warunków, różnych urządzeń abonenckich, rodzajów anten. Ponadto podział na podkanały powoduje, że abonenckie urządzenie OFDMA nadaje tylko część nośnych, a abonenckie urządzenie w OFDM musi nadawać wszystkie. Np. w OFDMA z 2048 nośnymi i 32 podkanałami, jeżeli tylko jeden podkanał jest przydzielony dla użytkownika, cała moc nadajnika jest skoncentrowana w 1/32 dostępnego pasma kanału radiowego, w porównaniu z OFDM daje to 15 dB zysku

W OFDM urządzenia użytkowników są przypisane do szczelin czasowych (symboli FFT), ale tylko jedno urządzenie użytkownika może nadawać w pojedynczej szczelinie czasowej. Podział na podkanały zastosowany w OFDMA pozwala na równoczesne nadawanie przez kilka urządzeń abonenckich w tej samej szczelinie czasowej, każdemu w jego podkanałach, co umożliwia jednoczesną obsługę wielu użytkowników.

3.1.5. Normalizacja w Europie

W Europie instytucją powołaną na mocy mandatu Komisji Europejskiej do ustanawiania norm telekomunikacyjnych jest Europejski Instytut Norm Telekomunikacyjnych, ETSI (*European Telecommunications Standards Institute*). Odpowiednikami specyfikacji technicznych z serii IEEE 802.16 są dokumenty ETSI opracowane w ramach komitetu technicznego BRAN (*ETSI Project Broadband Radio Access Networks*), dotyczące produktów przeznaczonych do stosowania w szerokopasmowych radiowych sieciach metropolitalnych, określanych wspólną nazwą "HiperMAN". Nazwa ta jest akronimem *High PERFORMANCE Radio Metropolitan Area Network*. Opublikowane w 2005 r. dokumenty ETSI stanowiące specyfikację systemu HiperMAN są transpozycją specyfikacji IEEE 802.16-2004 do warunków wynikających z regulacji europejskich.

W szczególności w Europie, również w Polsce, urządzenia HiperMAN (WiMAX) podlegają przepisom dotyczącym radiowych urządzeń nadawczo-odbiorczych i jako takie powinny spełniać wymagania zasadnicze określone w Dyrektywie 1999/5/EC.

Zbieżność specyfikacji technicznych IEEE 802.16 i ETSI HiperMAN oraz wymagania dotyczące interoperacyjności urządzeń radiowych stacji bazowych i urządzeń abonenckich, wytwarzanych przez różnych producentów, stworzyły perspektywę ustanowienia WiMAX jako pierwszego globalnego standardu szerokopasmowych radiowych sieci dostępowych.

W specyfikacji ETSI TS 102 177 [46] zdefiniowano system wzorowany na opisanym w IEEE 802.16-2004 w wersji z 256 nośnymi OFDM. Specyfikacja dotyczy kanałów radiowych o szerokości stanowiącej wielokrotność 250 kHz, nie mniejszej niż 1,25 MHz, wyznaczonych w pasmach częstotliwości poniżej 11 GHz.

Norma ETSI EN 302 502 zharmonizowana z art. 3.2 dyrektywy dotyczy parametrów urządzeń przeznaczonych do pracy w paśmie 5,8 GHz (5725 MHz do 5875 MHz), w kanałach o środkowych częstotliwościach określonych wyrażeniem:

$5725 + (n \times 2,5)$ MHz, gdzie: $n = 2$ do 58 dla kanałów 10 MHz,
albo $n = 4$ do 56 dla kanałów 20 MHz.

W odróżnieniu od specyfikacji IEEE 802.16 w ETSI określono maksymalną moc nadajnika, tab. 16. Powinno być możliwe obniżenie średniej mocy urządzenia do poziomu nie przekraczającego 24 dBm w kanale 20 MHz i 21 dBm w kanale 10 MHz.

Tab. 16: Maksymalna i średnia moc wyjściowa RF, eirp i gęstość mocy

Szerokość kanału	Maksymalna średnia moc doprowadzona do anteny [dBm]	Maksymalna średnia eirp [dBm]	Maksymalna średnia gęstość mocy eirp [dBm/MHz]
10 MHz	27	33	23
20 MHz	30	36	23

3.2. Pozycja systemu WiMAX

WiMAX (*Worldwide Interoperability for Microwave Access*) jest nazwą handlową przyjętą dla wyróżnienia urządzeń przeznaczonych do stosowania w szerokopasmowych, radiowych sieciach metropolitalnych (*Wireless MAN*). Do promowania tej techniki dostępu powołano stowarzyszenie o nazwie WiMAX Forum [www.wimaxforum.org]. Jego założycielami było kilka małych firm dostarczających urządzenia stacjonarnych radiowych systemów dostępowych i dwie firmy znane jako producenci elementów półprzewodnikowych Intel i Fujitsu. Obecnie WiMAX Forum zrzesza ok. 300 firm, w tym takich znanych producentów sprzętu telekomunikacyjnego jak Alcatel, Ericsson, Lucent, Motorola, Nortel, Nokia i Siemens. Jednym z celów WiMAX Forum jest certyfikacja urządzeń zgodnych ze specyfikacjami serii IEEE 802.16 i ETSI HiperMAN.

Certyfikaty WiMAX Forum mają potwierdzać zgodność z odpowiednią specyfikacją z serii IEEE 802.16 i/lub ETSI HiperMAN oraz interoperacyjność, polegającą na zestawie testów opracowanych przez WiMAX Forum.

Uzyskanie interoperacyjności urządzeń wytwarzanych przez różnych producentów ma zapewnić upowszechnienie standardu, a w perspektywie specjalizację, masową produkcję i obniżenie cen sprzętu. Interoperacyjność potwierdzana certyfikatami ma zapewnić, że urządzenie będzie poprawnie współdziałało z innym certyfikowanym urządzeniem.

Proces certyfikacji będzie dotyczył zarówno urządzeń stacjonarnych opartych na IEEE 802.16 2004 i aktualnych standardach ETSI HiperMAN, jak również ruchomych i przenośnych opartych na IEEE 802.16e.

Należy pamiętać, że nazwa WiMAX nie określa standardu, jest nazwą handlową odnoszącą się obecnie do co najmniej dwóch wersji systemu:

- zgodnej ze specyfikacją systemu OFDM wg IEEE 802.16-2004,
- zgodnej ze specyfikacją systemu OFDMA wg IEEE 802.16e.

W 2005 r. kilka firm opracowało zestawy układów scalonych (*chipsets*) ułatwiające implementację tego systemu.

Zastosowanie w stacjonarnej wersji systemu WiMAX modulacji OFDM (*Orthogonal Frequency Division Multiplexing*), z dynamicznie zmiennym rodzajem modulacji podnośnych (BPSK, QPSK, 16-QAM i opcjonalnie 64-QAM) i kodowania danych, zapewnia optymalne dostosowanie parametrów transmisji do właściwości kanału radiowego i znaczne zwiększenie odporności transmisji na zakłócenia i opóźnienia powodowane wielodrogowością propagacji

sygnałów radiowych. Na skutek tego WiMAX, w porównaniu z technikami radiowymi stosowanymi dotychczas w sieciach dostępowych o strukturze punkt do wielu punktów, pozwala uzyskiwać znacznie większe zasięgi i oferować dużą przepustowość łącza. Ponadto w odróżnieniu od konwencjonalnych mikrofalowych systemów dostępowych, w których jednym z warunków krytycznych jest konieczność uzyskania bezpośredniej widoczności anten (*Line of Sight, LOS*) stacji bazowej i urządzeń abonenckich, system WiMAX stosowany w zakresach częstotliwości od 2 GHz do 11 GHz, umożliwia realizację łącz mikrofalowych również w przypadkach braku bezpośredniej widoczności (NLOS). Dzięki temu do sieci dostępowej WiMAX można przyłączyć abonentów rozproszonych na dużym obszarze w terenie trudnodostępnym.

Możliwość zastosowania przez operatorów sieci dysponujących parami kanałów radiowych duplexu w dziedzinie częstotliwości (FDD), albo duplexu w dziedzinie czasu (TDD) polegającego na nadawaniu i odbiorze w tym samym kanale radiowym, umożliwia wykorzystanie wszystkich udostępnionych zasobów częstotliwości.

Warstwa fizyczna systemu WiMAX może być wykorzystywana do transmisji z podziałem czasowym (*Time Division Multiplex, TDM*) dla potrzeb konwencjonalnych kanałów telefonicznych, jak również do transmisji pakietowej, np. IP, dla potrzeb dostępu do Internetu, VoIP i multimediów.

W systemie WiMAX zastosowano środki mające na celu zarządzanie jakością usług (QoS), które pozwalają na spełnienie ostrych wymagań dotyczących średniej rocznej dostępności łącza radiowego w stopniu porównywalnym z dostępnością łączy kablowych (99,999%).

Zastosowano również mechanizmy mające na celu bezpieczeństwo i integralność transmisji, polegające na identyfikacji terminali i sprawdzonych metodach szyfrowania danych w czasie transmisji radiowej (*triple Data Encryption Standard, 3-DES*).

Certyfikacja interoperacyjności prowadzona przez niezależną instytucję stwarza szansę dla firm specjalizujących się w produkcji określonego rodzaju urządzeń, np. tylko terminali, a w konsekwencji do zwiększenia konkurencji, podniesienia jakości i obniżenie kosztów sprzętu.

Należy również zaznaczyć, że system WiMAX pod względem zasięgu, bezpieczeństwa i jakości transmisji zasadniczo różni się od systemów stosowanych w radiowych sieciach lokalnych (*Wireless Local Area Network, WLAN*), zgodnych ze standardami IEEE z serii 802.11, znanych też jako "Wi-Fi", których masowy rozwój nastąpił w ostatnich kilku latach.

Jednym z nieporozumień dotyczących specyfikacji WiMAX jest kwestia uzyskiwania zasięgu i przepływności łącza. W wielu popularnych publikacjach napisano, że jest to system umożliwiający transmisję 70 Mbit/s i ma zasięg 50 km. Nie wspomniano, że na krańcach zasięgu przepływność jest wielokrotnie mniejsza niż uzyskiwana w pobliżu BS, że uzyskanie przepływności bliskiej maksymalnej i maksymalnego zasięgu byłoby ewentualnie możliwe tylko w przypadku zastosowania kierunkowych anten przy bezpośredniej widoczności (LOS), a więc w warunkach stacjonarnego łącza punkt-punkt.

Wg realnych symulacji WiMAX w wersji stacjonarnej w systemie FDD w zakresie częstotliwości 3,5 GHz, z parą kanałów o szerokości 3,5 MHz, może osiągać przy zastosowaniu anten zewnętrznych przepływność 11 Mbit/s. W przypadku NLOS żądana przepływność spada do 8 Mbit/s w komórce o promieniu ok. 100 m w miastach o gęstej zabudowie i kilku kilometrów w sieci na obszarze wiejskim.

Z protokołem VoIP (kodek 8 kbit/s wg ITU-T.729) może obsługiwać do 96 jednoczesnych rozmów telefonicznych w kanale radiowym o szerokości 3,5 MHz.

Dla porównania CDMA2000 1x wykorzystując parę kanałów o szerokości 1,25 MHz w wersji stacjonarnej (WLL) może obsługiwać 90-100, a w wersji ruchomej 70-80 rozmów telefonicznych (biorąc pod uwagę rezerwę na handoff). Co wskazuje, że jest nowa, alternatywna technika, ale porównywalna z istniejącymi [54].

Rozważając możliwość stosowania WiMAX i porównując z systemami 3G należy pamiętać o zjawiskach propagacyjnych. Zasięg transmisji radiowej, przy porównywalnych parametrach nadajnika i odbiornika na częstotliwości 3,5 GHz jest ok. dwa razy mniejszy niż zasięg na częstotliwościach 2,1 GHz (UMTS). Oznacza to konieczność stosowania czterokrotnie większej liczby stacji bazowych.

W systemie WiMAX sieć szkieletowa jest siecią IP co oznacza, że jest skalowalna. W sieci można zastosować routery "z półki", co z kolei oznacza niższe koszty budowy sieci w porównaniu z sieciami 3G.

Perspektyw wdrożenia nie należy oceniać zbyt optymistycznie. Przykładem może być UMTS, którego specyfikację techniczną ustalono w 2001 r., a jeszcze nie stał się usługą powszechną.

Duże oczekiwania związane są z ruchomą wersją WiMAX (IEEE 802.16e). Chociaż nie brak opinii [54], że podniesiono je do takiego poziomu, że konfrontacja z rzeczywistymi możliwościami systemu spowoduje rozczarowanie.

Jednym z wątków związanych z mobilnością WiMAX jest tendencja do porównywania WiMAX z technologiami sieci komórkowych zaliczanych do 3G i wysnuwanie wniosku, że WiMAX będzie dla nich konkurencją, albo nawet zastąpi te systemy.

Należy obiektywnie stwierdzić, że WiMAX jest wiarygodnym rozwiązaniem wielu problemów, które odnosiły się do stacjonarnych sieci dostępowych: przede wszystkim braku otwartego standardu i braku kompatybilnego radiowego sprzętu. Wraz z pojawieniem się certyfikowanych urządzeń WiMAX, oferowanych przez wielu dostawców, konkurencja powinna doprowadzić do korzystnych cen.

WiMAX może:

- ułatwić budowę szerokopasmowych sieci dostępowych w krajach i na obszarach, gdzie budowa sieci dostępowych innym sposobem jest nieuzasadniona ekonomicznie;
- być wykorzystany do tworzenia sieci szkieletowej dla ruchomych sieci komórkowych, albo przyłączenia "hotspot" sieci Wi-Fi.

Należy zauważyć, że wersja WiMAX przeznaczona dla obsługi użytkowników ruchomych (IEEE 802.16e) jest niekompatybilna z wersją przeznaczoną dla obsługi użytkowników stacjonarnych (IEEE 802.16-2004). A więc de facto są to dwa różne standardy związane ze sobą wspólną nazwą handlową.

Kolejnym faktem wartym uwagi jest rozwój sieci Wi-Fi. Publicznie dostępne Wi-Fi hotspot są już obecnie popularne w takich lokalizacjach jak lotniska, hotele, sale konferencyjne, uczelnie. Ich usługi są też oferowane za darmo jako dodatkowe udogodnienie, w restauracjach i kawiarniach, lub jako usługa zapewniana przez lokalne samorządy.

Zanim urządzenia zgodne z ruchomą wersją WiMAX, oferowane przez wielu dostawców, pojawią się na rynku, co jak się oczekuje nastąpi nie wcześniej niż w 2007 r. dostępne będą zaawansowane usługi sieci ruchomych 3G korzystające z 1xEV-DO lub HSDPA – zależnie od regionu. Aby WiMAX mógł z nimi konkurować, musi oferować coś więcej niż można uzyskać stosując kombinację 3G/Wi-Fi, albo bardzo atrakcyjne ceny usług.

Wydaje się, że koszty budowy infrastruktury ruchomej sieci WiMAX będą podobne do kosztów budowy sieci 3G (jeżeli pominąć kwoty wpłacone w niektórych krajach przez

operatorów za uzyskanie koncesji) i będą wielokrotnie większe niż koszty budowy sieci Wi-Fi. Z drugiej strony użyteczny zasięg Wi-Fi w miejscach publicznych jest ograniczony praktycznie do kilkunastu metrów od AP, a transmisja narażona na zakłócenia.

Należy też liczyć się z możliwościami implementacji nowych modułów radiowych w komputerach przenośnych. Wyposażenie przenośnych PC (Laptop), a często także kieszonkowych (PDA), w moduł Wi-Fi stało się standardem. W wielu modelach PC jest wbudowany także moduł radiowy Bluetooth lub UMTS/GPRS.

Wprowadzenie WiMAX oznaczałoby konieczność wbudowania trzeciego^{/*} modułu lub rezygnację z obecnie stosowanych, odpowiednich do korzystania z obecnie dostępnych usług.

Czy producenci sprzętu komputerowego będą tym zainteresowani? W sytuacji, gdy klienci korzystają z usług sieci realizowanych w istniejących dziś technologiach. Jaką nową zasadniczą różnicę usług mogliby uzyskiwać, żeby mieć motywację do zmiany przyzwyczajeń.

3.3. Certyfikacja urządzeń WiMAX

Laboratorium autoryzowanym przez WiMAX Forum do prowadzenia badań certyfikacyjnych został CETECOM (Centro de Tecnología de las Comunicaciones, S.A., Malaga, Hiszpania). Proces certyfikacji stacjonarnych urządzeń WiMAX rozpoczęto w lipcu 2005 r. Scenariusze testów (*test scripts*) zostały opracowane wspólnie przez WiMAX Forum i ETSI. Testy wykonywane obecnie dotyczą urządzeń pracujących w zakresie częstotliwości 3400 ÷ 3600 MHz, z dupleksem FDD i TDD, w kanałach o szerokości 3,5 MHz i 7 MHz. Składają się z dwóch części:

- badań zgodności (*Conformance testing*) polegających na sprawdzeniu, czy technologia wdrożona przez dostawcę urządzenia jest zgodna z zestawem specyfikacji 802.16-2004 i HiperMAN wybranych przez WiMAX Forum;
- badań interoperacyjności (*Interoperability testing*) polegających na sprawdzeniu, czy urządzenie abonenckie przedstawione do oceny umożliwia zestawienie połączenia i komunikację z dwoma stacjami bazowymi innych dostawców, lub czy stacja bazowa przedstawiona do oceny umożliwia zestawienie połączenia i komunikację z dwoma urządzeniami abonenckimi innych dostawców.

W 2006 r. przewiduje się rozpoczęcie certyfikacji urządzeń pracujących w zakresie częstotliwości 5725 ÷ 5850 MHz, z dupleksem TDD, w kanałach o szerokości 10 MHz.

Aby uzyskać certyfikat WiMAX Forum produkt dostawcy musi przejść z wynikiem pozytywnym badania zgodności i interoperacyjności. Wydanie pierwszych certyfikatów WiMAX Forum przewidywane w IV kw. 2005 r. uległo opóźnieniu i nie nastąpi wcześniej niż w styczniu 2006 r.

Certyfikacja interoperacyjności prowadzona przez niezależną instytucję stwarza szansę dla firm specjalizujących się w produkcji określonego rodzaju urządzeń, np. tylko terminali, a w konsekwencji do zwiększenia konkurencji, podniesienia jakości i obniżenie kosztów sprzętu.

Profile certyfikacji opracowane dotychczas przez WiMAX Forum i ETSI dotyczą urządzeń o parametrach określonych w tab. 17 opracowanych zgodnie ze specyfikacją IEEE 802.16-2004, wersja OFDM z 256 nośnymi.

^{/*} Ze względu na niekompatybilność wersji stacjonarnej i ruchomej WiMAX – potrzebę dwóch nowych zespołów radiowych.

Pierwsze badania dotyczą urządzeń w paśmie 3,5 GHz z kanałami 3,5 MHz. W stosowanej obecnie edycji certyfikacji skoncentrowano się na testowaniu zgodności protokołów radiowych, w dalszej kolejności zakłada się testowanie QoS i bezpieczeństwa dla urządzeń przeznaczonych do stosowania na otwartym powietrzu.

Tab. 17: Podstawowe profile testowania urządzeń WiMAX

Zakres częstotliwości [MHz]	Dupleks	Szerokość kanału [MHz]
3400 ÷ 3600	TDD	3,5
3400 ÷ 3600	FDD	3,5
3400 ÷ 3600	TDD	7,0
3400 ÷ 3600	FDD	7,0
5725 ÷ 5850	TDD	10

Należy jednak podkreślić, że przedłużający się proces certyfikacji pierwszych urządzeń WiMAX opóźnia plany producentów sprzętu, wstrzymuje wdrożenie i stosowanie systemu WiMAX w instalacjach komercyjnych.

3.4. Inne systemy WMAN – WiBro

WiBro, akronim Wireless Broadband, jest projektem z Południowej Korei, rozwijanym jako system krajowy [55, 56]. Jest systemem zaprojektowanym do pracy w kanałach o szerokości 9 MHz w paśmie 2,3 GHz z dupleksem TDD, dostępem OFDMA. Pod wieloma względami podobnym do systemu IEEE 802.16e. Obsługuje użytkowników poruszających się z szybkością do 120 km/h.

Pod względem szybkości transmisji i kosztów sieci wypełnia lukę pomiędzy systemami transmisji danych w komórkowych sieciach 3G (HSDPA i EV-DO) a Wi-Fi. Maksymalna szybkość transmisji danych użytkownika wynosi 3 Mbit/s w kierunku jednostki abonenckiej (1 Mbit/s w kierunku stacji bazowej) i odpowiednio do 18 Mbit/s na sektor / 6 Mbit/s. Średnie szybkości na użytkownika 512 Kbit/s w komórce o promieniu 1 km.

Nie obsługuje bezprzerwowego przenoszenia połączeń (*seamless handoff*), z tego względu nie nadaje się do stosowania w szybkich pojazdach.

4. Hotspot WLAN

4.1. Zagadnienia systemowe

W specyfikacjach serii IEEE 802.11 zdefiniowano kilka wersji warstwy fizycznej systemów WLAN, różniących się m.in. maksymalną szybkością transmisji danych w łączu radiowym. Maksymalna szybkość jest określona w standardach serii IEEE 802.11 i powielana w informacjach dotyczących oferowanych produktów. Należy jednak pamiętać, że szybkość transmisji, którą może uzyskać użytkownik WLAN jest z zasady znacznie mniejsza niż szybkość transmisji danych w łączu radiowym, z kilku powodów:

- w przypadku WLAN zgodnych ze standardami serii 802.11 jest stosowany dupleks w dziedzinie czasu (TDD), skutkiem tego wszystkie urządzenia radiowej sieci lokalnej wykorzystują do nadawania i odbioru ten sam kanał radiowy, a zatem maksymalna szybkość łącza radiowego jest dzielona pomiędzy wszystkie aktywne urządzenia radiowe: punkt dostępu (AP) i terminale klienckie (PC);
- każdy pakiet wysyłany przez urządzenie radiowe zawiera oprócz danych użytkownika dodatkowe dane, takie jak nagłówki (związane z protokołami kolejnych warstw sieci

MAC, IP, TCP, ...) i sumy kontrolne (stosowane ze względu na potrzebę wykrywania i korekcji błędów);

- po każdym jednostkowym przesłaniu strona, która odebrała pakiet przesyła krótki pakiet potwierdzenia odbioru do strony, która go nadała;
- zgodnie z protokołem wielodostępu stosowanym w tych sieciach (CSMA/CA) każdy nadajnik, aby umożliwić innym użytkownikom dostęp do kanału radiowego, zanim rozpocznie nadawanie kolejnego pakietu oczekuje przez losowo krótki czas.

Maksymalną teoretyczną przepływność, na poziomie aplikacji, dla systemów WLAN zgodnych ze specyfikacjami serii IEEE 802.11 przedstawiono w tab. 18 [60, 61].

Tab. 18: Maksymalna teoretyczna przepływność na poziomie aplikacji

System	Liczba kanałów ^{/*}	Modulacja	Maksymalna szybkość łącza	Maksymalna szybkość z UDP	Maksymalna szybkość z TCP
802.11b	3	CCK	11 Mbit/s	7,1 Mbit/s	5,9 Mbit/s
802.11g (z trybem b)	3	OFDM/CCK	54 Mbit/s	19,5 Mbit/s	14,4 Mbit/s
802.11g (tylko tryb g)	3	OFDM	54 Mbit/s	30,5 Mbit/s	24,4 Mbit/s
802.11a	19	OFDM	54 Mbit/s	30,5 Mbit/s	24,4 Mbit/s

^{/*} Wg wymagań europejskich trzy nienakładające się kanały w paśmie 2,4 GHz oraz 19 kanałów w paśmie 5 GHz.

Wartości podane w tab. 18 obliczono przy założeniu [60, 61], że pakiety zawierają 1500 bajtów, jest uaktywnione szyfrowanie, istnieje możliwość uzyskania maksymalnej przepływności łącza radiowego (urządzenia umieszczone dostatecznie blisko siebie) i brak błędów odbioru pakietów powodowanych zakłóceniami.

Wyniki wskazują, że w przypadku systemu 802.11b teoretyczna maksymalna szybkość jaką można uzyskać w sieci WLAN na poziomie aplikacji opartej na protokole UDP wynosi ok. 7 Mbit/s, a w tych samych warunkach w przypadku systemów 802.11a i 802.11g ok. 30 Mbit/s.

W tab. 18 dla systemu 802.11g podano dwie różne przepływności, aby wykazać wpływ warunku kompatybilności z systemem 802.11b na dysponowaną przepływność łącza. Jak widać przepływność systemu 802.11g, w którym jest wymuszona kompatybilność z 802.11b jest znacznie mniejsza niż tych samych urządzeń zaprogramowanych do pracy tylko w trybie 802.11g. Zmniejszenie przepływności jest powodowane koniecznością nadawania dodatkowej sygnalizacji "zrozumiałej" dla wersji 802.11b.

Istotny wpływ na szybkość transmisji obserwowaną przez użytkownika ma także rodzaj protokołu transmisji pakietowej (IP), por. różnice pomiędzy parametrami osiąganymi dla UDP i TCP.

Uwagi. Wymienione w tab. 18 protokoły UDP i TCP odpowiadają warstwie transportowej (czwartej) modelu OSI. W odróżnieniu od UDP, który jest protokołem bezpołączeniowym i nie ma mechanizmów kontroli przepływu i retransmisji, przygotowanie i utrzymanie sesji TCP wymaga większego nadmiaru kodowego.

UDP jest stosowany np. w Internecie do przesyłania strumieni dźwięku, w grach sieciowych i innych aplikacjach, w których poprawianie błędów realizują wyższe

warstwy. Z TCP korzystają m.in. aplikacje, takie jak HTTP i FTP oraz SMTP, POP3 i IMAP4 – używane przez e-mail.

Jeżeli w zbudowanym systemie powyżej warstwy czwartej są stosowane dodatkowe protokoły np. szyfrowanie realizowane programowo, to szybkość będzie jeszcze mniejsza. Dla praktycznego sprawdzenia wydajności sieci z punktu widzenia użytkownika najbardziej miarodajna jest próba polegająca na przesyłaniu plików do terminala.

Zakłócenia, np. spowodowane przez nadajnik innego użytkownika pracujący w tym samym kanale, powodują konieczność powtarzania pakietu, co jest obserwowane jako spowolnienie średniej szybkości przesyłania danych.

Wpływ na średnią szybkość przesyłania ma także długość pakietu. Przesyłanie długich pakietów w kanale z zakłóceniami zwiększa prawdopodobieństwo błędu i konieczność powtarzania całego pakietu.

Gdy w systemie 802.11 dwa terminale radiowe przesyłają do tego samego AP, albo odbierają od tego samego AP, pakiety o tych samych rozmiarach, lecz jeden korzysta z połączenia o dużej szybkości, a drugi o małej szybkości, to średnia pojemność warstwy dostępu do medium będzie bliższa niższej z dwóch szybkości, a nie wyższej. Istnienie tego efektu nazywanego czasem "efektem użytkownika na obrzeżu" (*edge user effect*) [62] wyjaśnia, dlaczego zwiększenie zasięgu komórki WLAN może powodować zmniejszenie przepływności także dla urządzeń znajdujących się blisko punktu dostępu.

Uwaga. Niektórzy producenci oferują możliwość zwiększenia średniej szybkości np. metodą zmniejszania czasu oczekiwania na wysłanie kolejnego pakietu. Rozwiązanie takie może powodować problemy z interoperacyjnością, jeśli w sieci mają pracować urządzenia przypadkowych użytkowników i różnych producentów (np. hotspot).

Zagadnienia związane z charakterystykami systemów WLAN omówiono szerzej w sprawozdaniu z pracy 01300015 [63].

4.2. Hotspot

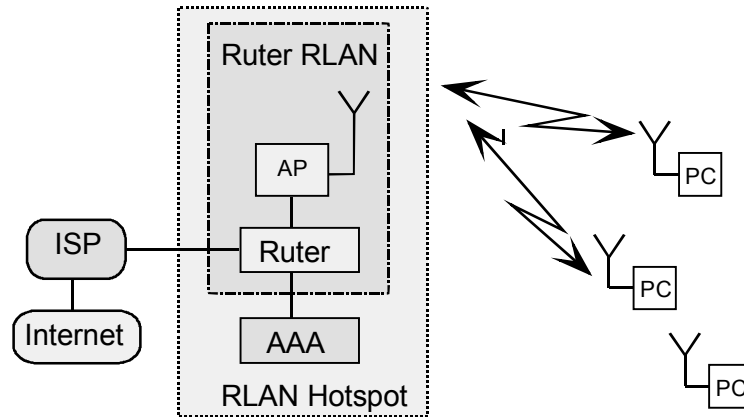
Jedną z usług oferowanych w sieciach publicznych jest dostęp do Internetu realizowany w radiowej sieci lokalnej (*Wireless Local Area Network, Wireless LAN, WLAN*) za pośrednictwem tzw. "hotspot".

Hotspot, rys. 19, składa się z rutera WLAN, który z jednej strony ma punkt dostępu do radiowej sieci lokalnej (AP), a z drugiej szerokopasmowe łącze sieci dostawcy usług internetowych (*Internet Service Provider, ISP*). Za pośrednictwem ISP oferowany jest dostęp do światowej sieci Internet. Obok środków technicznych zapewniających dostęp do Internetu ruter może być wyposażony w moduł naliczania opłat realizujący funkcje identyfikacji, autoryzacji i rozliczeń (*Authentication, Authorisation Accounting, AAA*). Dostęp do Internetu może być darmowy lub za opłatą, w tym przypadku dostawca usługi wymaga nazwy użytkownika i hasła, które mogą obowiązywać tylko dla jednego Hotspot i na określony czas.

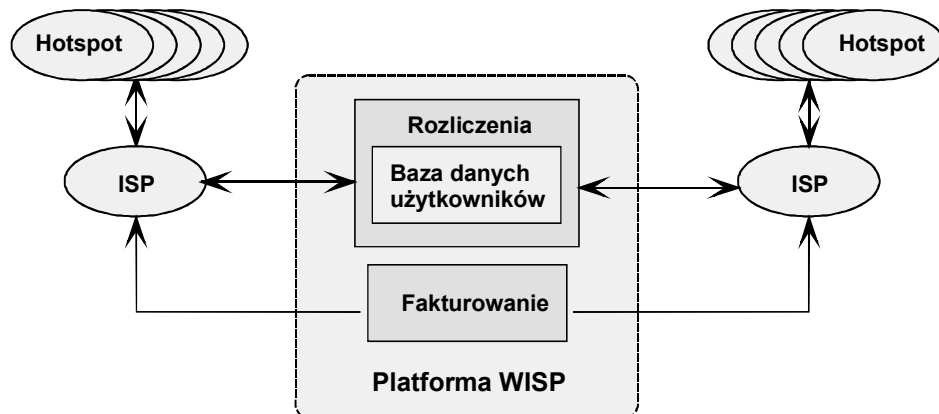
W przypadku operatora świadczącego usługi internetowe drogą radiową (*Wireless Internet Service Provider, WISP*) hotspot mogą tworzyć sieć wyposażoną w centralną jednostkę AAA, rys. 20, która obsługuje wszystkie hotspot dołączone do sieci. Użytkownik (abonent usługi) może korzystać na tych samych zasadach z dowolnego hotspot. W sieci WISP rozliczenia są prowadzone centralnie i za okres, np. raz w miesiącu, na podstawie czasu używania lub ilości pobranych danych. Ogólnodostępne hotspot są przeważnie instalowane na lotniskach, w hotelach, dworcach i w restauracjach.

Dla osób podróżujących istotne jest uzyskiwanie dostępu do WLAN w dowolnym miejscu, bez dodatkowych czynności, czyli roaming do sieci WISP w innych miejscowościach i krajach, i regulacja należności za usługi u własnego operatora. Wielu operatorów sieci komórkowych GSM świadczy tego rodzaju usługi.

Uwierzytelnienie dostępu do sieci powinno być dostosowane do możliwości urządzenia, którym posługuje się użytkownik oraz profilu użytkownika (abonent lub użytkownik korzystający dorywczo).



Rys. 19: Hotspot lokalnego dostawcy Internetu



Rys. 20: Wspólna platforma dostępu do Internetu – roaming

Jedną możliwość korzystania z usługi WLAN polega na tym, że użytkownik wykupuje abonament na usługę. Protokół sieci 802.1x (*Extensible Authentication Protocol, EAP*) korzysta z istniejącego modułu (karty) identyfikacji abonenta (*Subscriber Identity Module, SIM*). Urządzenie WLAN komunikuje się z rejestrem HLR (*Home Location Register*) sieci komórkowej za pośrednictwem serwera(ów) AAA (*Authentication, Authorisation and Accounting*).

Drugą możliwość stwarza bezpieczne uwierzytelnienie na zasadzie podawania do serwera AAA nazwy użytkownika i hasła. Może to być hasło jednorazowe (*One Time Password, OTP*) dostarczone jako karta "zdrapka", albo przesłane do telefonu użytkownika za pośrednictwem SMS.

Po uwierzytelnieniu i autoryzacji dane użytkownika powinny być chronione przed podsłuchem.

Obecnie najbardziej rozpowszechnione są urządzenia WLAN zgodne ze standardami z serii IEEE 802.11, znane również jako "Wi-Fi".

Wielu dostawców usług teleinformatycznych, takich jak operatorzy sieci GSM / UMTS, traktuje dostęp WLAN jako wzbogacenie oferty instalując "hotspot" w miejscach, takich jak lotniska, centra konferencyjne, dworce kolejowe i hotele. Przy czym dotychczas mobilność użytkowników WLAN jest ograniczona do obszaru zasięgu pojedynczego punktu dostępu (AP) lub kilku AP zapewniających obsługę przenoszenia połączeń (*handover*) w obrębie hotspot.

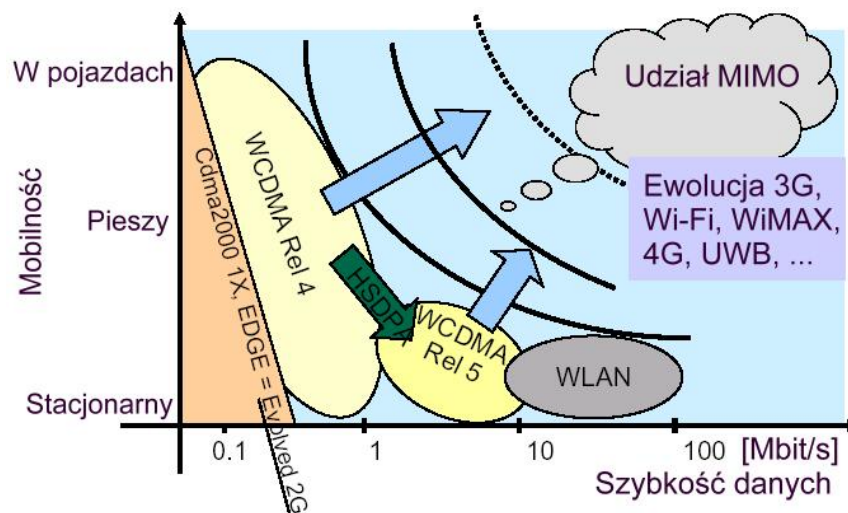
5. Podsumowanie

Nowe generacje systemów radiokomunikacji ruchomej są projektowane w celu urzeczywistnienia idei dostępu do komunikacji i informacji "każdemu, wszędzie i zawsze". Ich rozwój następuje wielotorowo. Obok systemów komórkowych tzw. trzeciej generacji (3G) i radiowych sieci lokalnych (WLAN), które uzyskały już powszechną akceptację, przedmiotem zainteresowania w ostatnim czasie jest system o nazwie handlowej WiMAX.

Wg danych UMTS Forum [www.umts-forum.org/] sieci UMTS buduje ok. 100 operatorów, a w sierpniu 2005 r. liczba użytkowników sieci UMTS na świecie przekroczyła 30 milionów. Usługi takie jak wideo telefonia, wideo strumieniowe, ruchoma telewizja i ruchomy e-mail są utożsamiane z możliwościami oferowanymi obecnie w sieci 3G.

W trakcie realizacji zadania, którego podsumowaniem jest niniejsze sprawozdanie zebrano i przeanalizowano dokumenty źródłowe opublikowane przez uznane instytucje i stowarzyszenia normalizacyjne, takie jak 3GPP, ETSI, 3GPP2, IEEE oraz wiele publikacji firmowych, w których omawia się zagadnienia szerokopasmowych zaawansowanych technologicznie radiowych systemów dostępowych ruchomych i stacjonarnych.

Wskazano, że systemy sieci komórkowych, nowa generacja systemów stacjonarnych (WiMAX) i radiowe sieci lokalne (WLAN) wzajemnie się uzupełniają. Stan obecny i kierunki rozwoju przedstawia rys. 21.



Rys. 21: Stan obecny i kierunki rozwoju radiowych sieci ruchomych

Prace dotyczące udoskonalenia istniejących i tworzenia koncepcji następnej generacji systemów radiokomunikacji ruchomej koncentrują się na następujących zagadnieniach [30, 65 ÷ 67]:

- interfejs radiowy w warstwie fizycznej, w tym wprowadzenie nowych technik modulacji i kodowania, elastyczne wykorzystanie pasma kanału radiowego o szerokości do 20 MHz, techniki z kształtowaniem charakterystyk anten, MIMO;
- optymalizacja interfejsu radiowego w warstwach 2 i 3, a przede wszystkim optymalizacja sygnalizacji;
- architektura radiowej sieci dostępowej i podział funkcji pomiędzy węzłami radiowej sieci dostępowej.

Założenia programowe sformułowane przez 3GPP [19] sprowadzają się do następujących wymagań:

- szczytowa szybkość transmisji:
 - rzędu 100 Mbit/s w paśmie kanału radiowego o szerokości 20 MHz (efektywność 5 bit/s na Hz) w kierunku terminala,
 - rzędu 50 Mbit/s w paśmie kanału radiowego o szerokości 20 MHz (efektywność 2,5 bit/s na Hz) w kierunku stacji bazowej;
- minimalizacja opóźnienia platformy sieciowej:
 - czas uaktywnienia terminala ze stanu biernego (*idle*) mniejszy niż 100 ms,
 - czas zmiany stanu terminala z aktywnego (*active*) do uśpienia (*dormant*) i odwrotnie mniejszy niż 50 ms;
- pojemność platformy sieciowej:
 - co najmniej 200 aktywnych użytkowników na komórkę w paśmie kanału 5 MHz;
- opóźnienie platformy użytkownika:
 - mniejsze niż 5 ms, pojedynczy użytkownik z pojedynczym strumieniem danych, mały pakiet IP;
- przepływność dla użytkownika odnoszona do pasma 1 MHz:
 - w kierunku terminala 3 do 4 razy większa niż w specyfikacji Release 6 (HSDPA),
 - w kierunku stacji bazowej 2 do 3 razy większa niż w specyfikacji Release 6 (HSDPA);
- mobilność realizowana z udoskonalonej sieci dostępowej E-UTRAN (*Evolved UTRAN*):
 - E-UTRAN ma być optymalizowana dla małych szybkości poruszania się terminala od 0 do 15 km/h,
 - powinna być utrzymywana wysoka jakość dla szybkości w granicach od 15 km/h do 120 km/h,
 - połączenia w sieci komórkowej powinny być utrzymywane przy szybkości od 120 km/h do 350 km/h, a nawet 500 km/h;
- pokrycie:
 - przepływność, efektywność widmowa i cele związane z mobilnością powinny być spełnione w komórkach 5 km i z niewielką degradacją w komórkach 30 km;
- elastyczne wykorzystanie widma:
 - E-UTRA powinna pracować w kanałach o różnej szerokości, w tym 1,25 MHz, 2,5 MHz, 5 MHz, 10 MHz, 15 MHz i 20 MHz. Należy zapewnić działanie w pasmach parowanych i nieparowanych,
 - system powinien umożliwiać dostarczenie usługi (*content delivery*) z wykorzystaniem agregacji zasobów, a w szczególności zasobu kanałów radiowych w tym

samym i różnych pasmach częstotliwości, w obu kierunkach transmisji w sąsiadujących i niesąsiadujących kanałach. Jako zasoby radiowe definiuje się całe widmo, którym dysponuje operator;

- współistnienie i współpraca z 3GPP RAT:
 - terminale E-UTRAN obsługujące także UTRAN i/lub GERAN powinny umożliwiać pomiar sygnału i handover do oraz z 3GPP UTRAN i 3GPP GERAN;
- architektura i migracja:
 - jednorodna architektura E-UTRAN,
 - architektura E-UTRAN powinna być projektowana dla transmisji pakietowej, ale należy zapewnić środki do obsługi ruchu czasu rzeczywistego i konwersacyjnego,
 - E-UTRAN powinna minimalizować obecność punktów, których uszkodzenie jest krytyczne (w oryginale "single points of failure"), o ile to możliwe bez dodatkowego kosztu sieci szkieletowej,
 - powinna zapewniać QoS od końca do końca (*end-to-end*),
 - E-UTRAN należy zaprojektować minimalizując wahania opóźnień (*jitter*), np. dla komunikacji pakietowej TCP/IP,
 - należy zoptymalizować protokoły sieci szkieletowej;
- zarządzanie zasobami radiowymi:
 - obsług QoS od końca do końca,
 - efektywna obsługa wyższych warstw,
 - rozdział ruchu pomiędzy różne RAT;
- złożoność:
 - minimalizować liczbę opcji,
 - nie obligować do stosowania elementów redundantnych.

Aby zachować czołową pozycję 3GPP we wdrażaniu nowych technik dostępu radiowego opracowano raport TR 23.882 [6] wytyczający ramowy program na najbliższe 10 lat.

W szczególności celem rozwoju systemów 3GPP powinno być rozszerzenie możliwości obsługi ruchu IP, poprawa wskaźników dotyczących wydajności sieci oraz obniżenia kosztów, a w szczególności ewolucja powinna zmierzać do zmniejszenia zwłoki (*latency*), uzyskania większej szybkości oferowanej użytkownikom, zwiększenia pojemności i pokrycia sieci.

Dodatkowo zakłada się, że usługi 3GPP oparte na IP będą oferowane przy zastosowaniu różnych technik dostępu. Jednym z celów są również mechanizmy zapewniające mobilność pomiędzy różnorodnymi sieciami dostępowymi, np. WLAN i 3GPP. Osiągnięcie tych celów może nastąpić drogą ewolucji (migracji) architektury sieci i interfejsu radiowego.

Uwarunkowania dotyczące architektury powinny uwzględniać aspekty sieci szkieletowej i studia w zakresie przyłączenia różnych sieci dostępowych IP np. szerokopasmowego stacjonarnego dostępu radiowego.

Rozwój sieci radiowych wywiera wpływ także na normalizację w innych dziedzinach. Np. w związku z wprowadzaniem do specyfikacji pakietu usług multimedialnych (*IP Multimedia CN Subsystem*) w przypadku Release 1999 i Release 4 adoptowano istniejące dokumenty IETF. Począwszy od Release 5 istnieje ścisła współpraca pomiędzy 3GPP, które określa wymagania, a IETF, które proponuje rozwiązania problemu.

Bibliografia

- [1] ITU-R Rec. M.1035. Framework for the radio interface(s) and radio sub-system functionality for International Mobile Telecommunications-2000 (IMT-2000).
- [2] ITU-R Rec. M.1225 Guidelines for evaluation of radio transmission technologies for IMT-2000.
- [3] ITU-R Rec. M.1036-2. Frequency arrangements for implementation of the terrestrial component of International Mobile Telecommunications-2000 (IMT-2000) in the bands 806-960 MHz, 1710-2025 MHz, 2110-2200 MHz and 2500-2690 MHz.
- [4] ITU-R Rec. M.1455-2. Key characteristics for the International Mobile Telecommunications-2000 (IMT-2000) radio interfaces.
- [5] ITU-R Rec. M.1457. Detailed specifications of the radio interfaces of International Mobile Telecommunications-2000 (IMT-2000).
- [6] 3GPP TR 23.882. 3GPP System Architecture Evolution: Report on Technical Options and Conclusions.
- [7] ETSI TR 101 111 V3.0.1. Universal Mobile Telecommunications System; Requirements for the UMTS Terrestrial Radio Access system (UTRA). (UMTS 21.01 version 3.0.1).
- [8] 3GPP TR 21.902. Evolution of 3GPP System.
- [9] 3GPP TR 21.905. Vocabulary for 3GPP Specifications.
- [10] 3GPP TS 03.64. General Packet Radio Service (GPRS); Overall description of the GPRS radio interface; Stage 2.
- [11] R. Krüger. H. Mellein. UMTS. Rohde&Schwarz GmbH. 2004.
- [12] 3GPP TS 25.301. Radio Interface Protocol Architecture.
- [13] 3GPP TR 25.876. Multiple-Input Multiple-Output Antenna Processing for HSDPA.
- [14] 3GPP TR 22.934. Feasibility study on 3GPP system to Wireless Local Area Network (WLAN) interworking.
- [15] 3GPP TR 22.935. Feasibility study on Location Services (LCS) for Wireless Local Area Network (WLAN) interworking.
- [16] 3GPP TR 25.848. Physical layer aspects of UTRA High Speed Downlink Packet Access (Release 4).
- [17] 3GPP TR 25.855. High Speed Downlink Packet Access (HSDPA); Overall UTRAN description.
- [18] 3GPP TR 25.855. High Speed Downlink Packet Access; Overall UTRAN Description (Release 5)
- [19] 3GPP TR 25.913. Requirements for Evolved UTRA (E-UTRA) and Evolved UTRAN (E-UTRAN).
- [20] 3GPP TR 25.858. High Speed Downlink Packet Access: Physical Layer Aspects (Release 5).
- [21] 3GPP TR 25.899. High Speed Download Packet Access (HSDPA) enhancements (Release 6).

- [22] 3GPP TR 25.950. UTRA High Speed Downlink Packet Access (Release 4).
- [23] 3GPP TS 22.234. Requirements on 3GPP system to Wireless Local Area Network (WLAN) interworking. (Release 7).
- [24] 3GPP TS 23.002. Network architecture.
- [25] 3GPP TS 25.308. High Speed Downlink Packet Access (HSDPA); Overall description; Stage 2.
- [26] Tektronix. EDGE Wireless Networks. Technical Brief.
- [27] UMTS Forum. HSPA: High Speed Wireless Broadband From HSDPA to HSUPA and beyond.
- [28] UMTS Forum. Oct. 2005. 3G/UMTS Towards mobile broadband and personal Internet.
- [29] 3G Americas. The Evolution of UMTS / HSDPA. 3GPP Release 6 and Beyond. July 2005.
- [30] Institute for Prospective Technological Studies (ipts). The Future of Mobile Communications in the EU: Assessing the potential of 4G. An ESTO Project Report. Feb. 2004.
- [31] Krzysztof Zięcina. Lucent Technologies. 2005. HSDPA następny krok dla operatorów UMTS.
- [32] TIA/EIA-95-B, Mobile Station-Base Station Compatibility Standard for Wideband Spread Spectrum Cellular Systems, February, 1999.
- [33] 3GPP2 C.S0001-C. Version 1.0. Date: May 28, 2002. Introduction to cdma2000 Standards for Spread Spectrum Systems. Release C.
- [34] 3GPP2 C.S0002-C. Version 1.0. Date: May 28, 2002. Physical Layer Standard for cdma2000 Spread Spectrum Systems. Release C.
- [35] 3GPP2 C.S0003-C. Version 1.0. Date: May 28, 2002. Medium Access Control (MAC) Standard for cdma2000. Spread Spectrum Systems. Release C.
- [36] 3GPP2 C.S0004-C. Version 1.0. Date: May 28, 2002. Signaling Link Access Control (LAC). Standard for cdma2000 Spread Spectrum Systems. Release C.
- [37] 3GPP2 C.S0005-C. Version 1.0. Date: May 28, 2002. Upper Layer (Layer 3). Signaling Standard for cdma2000 Spread Spectrum Systems. Release C.
- [38] 3GPP2 C.S0024. Version 2.0. Date: October 27, 2000. cdma2000 High Rate Packet Data Air Interface. Specification TIA: IS-856-0
- [39] 3GPP2 C.S0024-A, Version 1.0. Date: March 2004. cdma2000 High Rate Packet Data Air Interface. Specification TIA: IS-856-A.
- [40] Krzysztof Zięcina. Lucent Technologies. 2005. Technika EVDO w realizacji usługi bezprzewodowego DSL.
- [41] ETSI TR 101 856 V1.1.1 (2001-03). Broadband Radio Access Networks (BRAN); Functional Requirements for Fixed Wireless Access systems below 11 GHz: HIPERMAN.
- [42] IEEE Std 802.16-2001. IEEE Standard for Local and metropolitan area networks. Part 16: Air Interface for Fixed Broadband Wireless Access Systems.

- [43] IEEE Std 802.16a-2003. (Amendment to IEEE Std 802.16-2001). 802.16a IEEE Standard for Local and metropolitan area networks Part 16: Air Interface for Fixed Broadband Wireless Access Systems – Amendment 2: Medium Access Control Modifications and Additional Physical Layer Specifications for 2–11 GHz.
- [44] IEEE 802.16-2004 IEEE Standard for Local and metropolitan area networks Part 16: Air Interface for Fixed Broadband Wireless Access Systems.
- [45] IEEE P802.16e/D12: Approved Draft Amendment to IEEE Standard for Local and Metropolitan Area Networks--Part 16: Air Interface for Fixed and Mobile Broadband Wireless Access Systems--Amendment for Physical and Medium Access Control Layers for Combined Fixed and Mobile Operation in Licensed Bands.
- [46] ETSI TS 102 177 V1.2.2 (2005-11). Broadband Radio Access Networks (BRAN); HIPERMAN; Physical (PHY) layer.
- [47] ETSI TR 101 938 V1.2.1 (2002-06). Fixed Radio Systems; Electronically steerable antennas; Multipoint (MP) antennas.
- [48] ETSI EN 302 502 V1.1.1 (2005-08). Broadband Radio Access Networks (BRAN); 5,8 GHz fixed broadband data transmitting systems; Harmonized EN covering essential requirements of article 3.2 of the R&TTE Directive
- [49] WiMAX Forum. 2005. WiMAX Forum Certification of Broadband Wireless Systems.
- [50] WiMAX Forum. Nov. 2005. WiMAX an efficient tool to bridge the digital divide.
- [51] WiMAX Forum. Nov. 2005. Fixed, nomadic, portable and mobile applications for 802.16-2004 and 802.16e WiMAX networks.
- [52] WiMAX Forum. WiMAX technology for LOS and NLOS environment.
- [53] WiMAX Forum Regulatory Working Group. Initial Certification Profiles and the European regulatory framework – September 2004.
- [54] CDMA Development Group. July 2005 WiMAX Opportunities and Challenges in a Wireless World.
- [55] Sogang University, Seoul. 2.3 GHz Portable Internet (WiBro) 2.3 GHz Portable Internet (WiBro) for Wireless for Wireless Broadband Broadband Access
- [56] Samsung Electronics Co. Sept. 2004. Introduction to WiBro Technology.
- [57] Wireless Europe. Issue 42. Dec./Jan. 2006. WiMAX: friend or foe?
- [58] GSM Association. PRD SE.27. Services, Ease of Use, and Operator Considerations in Interworked WLAN-Cellular Systems. Version: 3.0.0. 28.05.2003.
- [59] GSM Association. Official Document IR.61. Official Document IR.61 WLAN Roaming Guidelines (also known as Inter-Operator Handbook) 3.1.0 August 2004
- [60] Atheros Communications Inc. 2003. Methodology for testing Wireless LAN performance.
- [61] Atheros Communications Inc. 2003 802 Wireless LAN Performance.
- [62] Nortel Networks. Engineering a WLAN network. 2004.
- [63] Instytut Łączności. Warszawa 2005. Sprawozdanie z pracy 01300015. Prace dotyczące systemów radiokomunikacyjnych III i następnych generacji w szczególności dla potrzeb sieci inteligencji otoczenia.

- [64] ETSI TR 101 856. Functional Requirements for Fixed Wireless Access systems below 11 GHz: HiperMAN.
- [65] Texas Instruments. Broadband and 4G Communications Architectures
- [66] Wireless Europe. Issue 42. Dec./Jan. 2006. Mobility offers a route to 4G.
- [67] IEEE Communications Magazine. December 2004. Implementation and Experimental Results of a Three-Transmitter Three-Receiver OFDM/BLAST Testbed.

<http://standards.ieee.org/>

www.3gpp.org/

www.3gpp2.org/

www.bluetooth.org/

www.cdg.org/

www.openmobilealliance.org/

www.tdscdma-forum.org/en/

www.tiaonline.org/

www.umts-forum.org/

www.wimaxforum.org/

Wykaz akronimów

16-QAM	16 Quadrature Amplitude Modulation
2G	Second Generation (system)
3G	Third Generation (system)
3GPP	Third Generation Partnership Project
3GPP2	Third Generation Partnership Project 2
8-PSK	8-Phase Shift Keying
AAA	Authentication, Authorisation Accounting
ADSL	Asynchronous Digital Subscriber Line
AMR	Adaptive Multi Rate
ANSI	American National Standard Institute
AP	Access Point
ARQ	Automatic Repeat request
ARQ	Automatic Response Request
ATM	Asynchronous Transfer Mode
BER	Bit Error Ratio
BFWA	Broadband Fixed Wireless Access
BFWA	Broadband Fixed Wireless Access
BPSK	Binary Phase Shift Keying
BRAN	Broadband Radio Access Networks
BS	Base Station
CDG	CDMA Development Group
CDMA	Code Division Multiple Access
CEPT	European Post and Telecommunications Consultative Committee
CN	Core Network
CPE	Customer Premises Equipment
CRC	Cyclic redundancy check
CS	Circuit Switched

CS	Coding Scheme
DCS	Digital Cellular System (GSM 1800)
DECT	Digital Enhanced Telecommunications
DLC	Data Link Control (layer)
DSL	Digital Subscriber Line
EDGE	Enhanced Data rates for GSM Evolution
EGPRS	Enhanced GPRS
eirp	Equivalent Isotropically Radiated Power
ETSI	European Telecommunications Standard Institute
E-UTRA	Evolved UTRA
E-UTRAN	Evolved UTRAN
E-UTRAN	Evolved UTRAN
EV-DO	Evolution Data Only (cdma2000)
EV-DV	Evolution Data and Voice
FDD	Frequency Division Duplex
FDMA	Frequency Division Multiple Access
FEC	Forward error correction
FOMA	Freedom of Mobile Multimedia Access (NTT DoCoMo)
FPLMTS	Future Public Land Mobile Telecommunications Systems
GERAN	GSM EDGE Radio Access Network
GPRS	General Packet Radio Service (GSM)
GSM	Global System for Mobile (communication)
HiperMAN	High Performance Radio Metropolitan Access Networks
HSDPA	High Speed Downlink Packet Access
HSDPA	High Speed Downlink Packet Access
HS-DSCH	High Speed-Downlink Shared Channel
HSPA	High Speed Packet Access
HSUPA	High Speed Uplink Packet Access
HSUPA	High Speed Uplink Packet Access
IEEE	Institute of Electrical and Electronics Engineers
IETF	Internet Engineering Task Force
IETF	Internet Engineering Task Force, [http://www.ietf.org/]
IMT-2000	International Mobile Telecommunications 2000
IMT-2000	International Mobile Telecommunications –2000
IMT-MC	IMT Multi Carrier
IP	Internet Protocol
ISP	Internet Service Provider
ITU	International Telecommunications Union
LAC	Link Access Control (sub)layer
LAN	Local Area Network
LMCS	Local Multipoint Communications System
LMDS	Local Multipoint Distribution System
LOS	Line Of Sight
MAC	Medium Access Control (sub)layer
MAP	Mobile Application Part (GSM)
MCS	Multipoint Communications System
MIMO	Multiple Input Multiple Output
MMDS	Multichannel Multipoint Distribution System
MS	Mobile Station
MVDS	Multichannel Video Distribution System

MWS	Multimedia Wireless System
NLOS	Non Line Of Sight
NTWK	network layer
ODU	OutDoor Unit
OFDM	Orthogonal Frequency Division Multiplexing
OFDMA	Orthogonal Frequency Division Multiple Access
OMA	Open Mobile Alliance [www.openmobilealliance.org/]
OSI	Open System Interconnect
PHY	Physical layer
PMP	Point-to-Multipoint
ppm	parts per million
PSK	Phase Shift Keying
PSTN	Public Switched Telephony Network
QAM	Quadrature Amplitude Modulation
QoS	Quality of service
QPSK	Quadrature Phase Shift Keying
R&TTE	Radio and Telecommunications Terminal Equipment
RAN	Radio Access Network
RF	Radio Frequency
RLP	Radio link protocol
RTT	Radio Transmission Technology
SC	Single Carrier
SDMA	Spatial Division Multiple Access
SME	Small and Medium Enterprises
SOFDMA	Scalable Orthogonal Frequency Division Multiplexing Access
SOHO	Small Office/Home Office
TCP	Transmission Control Protocol
TDD	Time Division Duplex
TDM	Time Division Multiplex
TDMA	Time Division Multiple Access
TD-SCDMA	Time Division Synchronous CDMA
TS	Terminal Station
TTI	Transmission Time Interval
UDP	User Datagram Protocol
UE	User Equipment
UMTS	Universal Mobile Telecommunication System
USIM	Universal Subscriber Identity Module
UTRA	Universal Terrestrial Radio Access, (UMTS)
UTRAN	Universal Terrestrial Radio Access Network
VLAN	Vertical LAN
W-CDMA	Wideband CDMA
WiBro	Wireless Broadband,
Wi-Fi	Wireless Fidelity
WiMAX	Worldwide Interoperability for Microwave Access
WISP	Wireless Internet Service Provider
WLAN	Wireless LAN
WMAN	Wireless Metropolitan Area Network, Wireless MAN
WWAN	Wireless Wide Area Network, Wireless WAN