

SIECI RADIOWE – TEORIA I PODRĘCZNIK INSTALATORA

Autorzy: Igor Pietrzyk, Tomasz Zygałło, Michał Śmiałek IV FDS

Streszczenie

Wraz z rozwojem standardów sieci bezprzewodowych stały się one coraz bardziej powszechnie stosowane. W Polsce obserwuje się również szybki rozwój tej nowej technologii coraz częściej stosowanej przez chociażby dostawców usług internetowych którzy oferują dostęp do sieci z wykorzystaniem technik bezprzewodowych. Dużą popularnością cieszą się sieci pracujące w standardzie WLAN 802.11b. Staraliśmy się jednak zwrócić uwagę na inne technologie takie jak Bluetooth, IRDA, HomeRF czy HiperLAN przynajmniej od strony teoretycznej. W części praktycznej zostały przedstawione praktyczne aspekty zastosowania sieci opartych o technologie bezprzewodowe.

SPIS TREŚCI

STRESZCZENIE	1
1. WSTĘP.....	3
1.1 ZALETY SIECI WLAN.....	5
1.2 STRUKTURA SIECI	5
2. TECHNOLOGIE SIECI BEZPRZEWODOWYCH.....	6
2.1 TECHNOLOGIA WĄSKIEGO PASMA (NARROW BAND).....	6
2.2 TECHNOLOGIA SZEROKIEGO WIDMA (SPREAD SPECTRUM).....	6
2.3 FREQUENCY-HOPPING SPREAD SPECTRUM TECHNOLOGY (FHSS)	6
2.4 DIRECT-SEQUENCE SPREAD SPECTRUM TECHNOLOGY (DSSS)	7
2.5 TECHNOLOGIA PODCZERWIENI (IR).....	8
3. STANDARDY SIECI BEZPRZEWODOWYCH.....	9
3.1 BLUETOOTH	9
3.1.1 <i>Struktura warstw w systemie Bluetooth</i>	10
3.4.1 <i>Klasy nadajników</i>	10
3.4.2 <i>Połączenia w systemie Bluetooth</i>	11
3.2 STANDARD IRDA	12
3.2.1 <i>Warstwy w standardzie IrDA</i>	13
3.2.2 <i>Warstwy opcjonalne w protokole IrDA</i>	14
3.3 STANDARD HOME RF 2.0.....	15
3.4 STANDARD HiPERLAN	16
3.4.1 <i>Warstwa fizyczna</i>	16
3.4.2 <i>Format ramki</i>	17
3.5 WLAN IEEE 802.11B.....	18
3.5.1 <i>Warstwa fizyczna</i>	18
3.5.2 <i>Podwarstwa MAC</i>	19
3.5.3 <i>Format ramki</i>	20
3.5.4 <i>Kolizje</i>	20
3.5.5 <i>Opcje bezpieczeństwa</i>	21
4. CZĘŚĆ PRAKTYCZNA	22
4.1 BEZPRZEWODOWE KARTY SIECIOWE	23
4.2 PUNKTY DOSTĘPU	23
4.3 ANTENY	24
4.4 KONFIGURACJE SIECI BEZPRZEWODOWYCH.....	25
LITERATURA	28

1. Wstęp

Bezprzewodowa sieć lokalna (LAN) jest elastycznym systemem komunikacji zaimplementowanym jako uzupełnienie, lub jako rozwiązanie alternatywne dla tradycyjnej sieci kablowej. Wykorzystując częstotliwości radiowe (RF), sieć bezprzewodowa wysyła i odbiera dane przez medium jakim jest ziemski atmosfera, minimalizując konieczność użycia połączeń kablowych. Tak więc sieć bezprzewodowa łączy w sobie transmisję danych z mobilnością użytkownika.

Sieci bezprzewodowe zyskały dużą popularność w wielu zastosowaniach, w tym medycyna, handel, produkcja, magazynowanie i nauka. Użytkownicy w tych segmentach rynku zyskują na wydajności, używając przenośnych terminali i komputerów do stałej, bieżącej transmisji danych do centralnych systemów przetwarzania. Dzisiejsze sieci bezprzewodowe postrzegane są jako doskonała alternatywna technologia dla szerokiego spektrum zastosowań.

Powszechna obecność sieci komputerowych w gospodarce i błyskawiczny rozwój Internetu oraz usług dostarczanych przez sieć świadczą o korzyściach jakie daje dostęp do informacji i współdzielenie zasobów. Dzięki sieci bezprzewodowej użytkownik może uzyskać dostęp do informacji bez poszukiwania miejsca z dostępem do sieci, a administratorzy sieci mogą konfigurować sieć bez instalowania czy przenoszenia struktury kablowej. Sieci bezprzewodowe oferują wydajność, wygodę i obniżenie kosztów w porównaniu z siecią kablową:

- **Przenośność**
Bezprzewodowe systemy sieciowe umożliwiają użytkownikom sieci dostęp do aktualnych informacji bez względu na lokalizację. Taka przenośność zwiększa wydajność i stwarza możliwość świadczenia usług niedostępnych przy korzystaniu z sieci kablowej.
- **Szybkość i prostota instalacji**
Instalacja sieci bezprzewodowej może być szybka i łatwa dzięki wyeliminowaniu potrzeby układania kabli, robienia przepustów przez ściany i kondygnacje.
- **Elastyczność instalacji**
Technologia bezprzewodowa umożliwia zbudowanie sieci tam, gdzie nie ma możliwości położenia kabli.
- **Redukcja kosztów eksploatacji**
Podczas gdy wstępny koszt instalacji bezprzewodowej może być wyższy niż sieci kablowej, całkowite koszty instalacji systemu i koszty eksploatacyjne mogą być znacząco niższe. Długoterminowa redukcja kosztów jest jeszcze większa w zastosowaniach wymagających częstych zmian konfiguracji lub lokalizacji.
- **Skalowalność**
Bezprzewodowe systemy sieciowe mogą być konfigurowane w różnych topologiach dopasowując je do wymogów danego systemu informatycznego. Łatwo modyfikuje się konfigurację i zasięg sieci, począwszy od indywidualnych użytkowników w układzie peer-to-peer, aż po złożone infrastruktury tysięcy użytkowników komunikujących się w systemach roamingowych na dużych obszarach.

Sieć bezprzewodowa używa fal elektromagnetycznych (radiowych lub podczerwonych) do przesyłania informacji z jednego punktu do drugiego bez użycia medium fizycznego. Fale radiowe często są traktowane jako radiowy nośnik ponieważ po prostu pełnią funkcję dostarczania energii do zdalnego odbiornika. Transmitowane dane są nakładane na nośnik radiowy tak aby mogły być dokładnie wydobyte w punkcie odbioru. Zwykle określa się to modulacją nośnika przez informację przesyłaną. Gdy dane są nakładane (modulowane) do nośnika radiowego, sygnał radiowy zajmuje więcej niż pojedynczą częstotliwość, ponieważ częstotliwość lub (bit rate) modulowanej informacji dodaje się do nośnika.

Wiele radiowych nośników może współistnieć w tym samym miejscu o tym samym czasie bez wzajemnej interferencji, jeśli fale radiowe są transmitowane na różnych częstotliwościach. W celu wydobywania danych, odbiornik radiowy dostraja się do jednej częstotliwości i odrzuca wszystkie pozostałe.

W typowej konfiguracji bezprzewodowej, urządzenie nadawczo/odbiorcze, zwane punktem dostępowym, łączy się z siecią kablową z użyciem standardowego okablowania. W najprostszym przypadku, punkt dostępowy odbiera, buforuje i transmituje dane pomiędzy siecią bezprzewodową i siecią kablową. Pojedynczy punkt dostępowy może obsługiwać małą grupę użytkowników i może funkcjonować w zasięgu mniejszym niż od 300 do 10 000 metrów. Punkt dostępowy, (lub antena podłączona do punktu dostępowego) jest zwykle montowana wysoko, lecz może być również instalowana gdziekolwiek co jest praktyczne tak długo, jak pożądany zasięg jest osiągnięty.

Użytkownicy korzystają z sieci bezprzewodowej za pomocą bezprzewodowych kart sieciowych, które występują jako karty PCMCIA w komputerach przenośnych i podręcznych, lub jako karty w komputerach biurkowych, lub też jako zintegrowane urządzenia w komputerach podręcznych. Karty bezprzewodowe ustanawiają interfejs pomiędzy systemem sieciowym klienta a falami radiowymi poprzez antenę. Natura połączenia radiowego jest "przeźroczysta" dla sieciowego systemu operacyjnego.

Elastyczność i mobilność czyni sieć bezprzewodową zarówno efektywnym rozszerzeniem jak i atrakcyjną alternatywą dla sieci kablowych. Sieci bezprzewodowe zapewniają identyczną funkcjonalność jak sieci kablowe, bez fizycznych ograniczeń samego kabla. Konfiguracje sieci bezprzewodowych rozciągają się od prostych topologii peer-to-peer, aż do złożonych sieci oferujących dystrybucję danych i roaming. Oprócz oferowania użytkownikowi mobilności w otoczeniu sieciowym, sieci bezprzewodowe umożliwiają przenoszenie sieci - sieć można przenosić z miejsca w miejsce razem z pracownikami jej używającymi i ich wiedzą.

Bardzo łatwo znaleźć zalety technologii radiodostępnych, ale równie łatwo znaleźć ich wady - ograniczona moc, pasmo zależne od zasięgu i/lub zakłóceń, konieczność uzyskiwania przydziału pasma lub korzystanie z silnie zakłóconych pasm ogólnie dostępnych.

W roku 1997 organizacja IEEE ustanowiła normę 802.11 definiującą "radiowy ethernet" znany pod nazwą Wireless LAN (WLAN). Wykorzystuje on bezpłatne pasmo od 2400 do 2485MHz. W Polsce pasmo to zostało uwolnione dopiero w 2002 roku. Sieć radiowa jest bardzo ciekawą alternatywą wszędzie tam, gdzie niemożliwe jest przeprowadzenie kabla pod ziemią lub ze względów estetycznych nie jest wskazane prowadzenie płataniny kabli. Swoje zastosowanie znajdzie także w miejscach gdzie ważna jest swoboda poruszania się oraz łatwość dostępu do sieci.

1.1 Zalety sieci WLAN

- Jest prosta w montażu i konfiguracji.
- Łatwa diagnoza usterki.
- Daje duże możliwości rozbudowy (modularność).
- Nieograniczona swoboda poruszania się.
- Nie wymaga okablowania.
- Można ją połączyć z kablową siecią LAN.
- Anteny kierunkowe pozwalają osiągnąć znaczny zasięg sieci.
- Brak konieczności podłączania jakichkolwiek kabli podczas przyłączania stacji roboczej do sieci.

1.2 Struktura Sieci

Zasadniczo wyróżniamy trzy struktury sieci radiowych ze względu na ich organizację, oto one:

IBSS (Independet Basic Service Set) - sieć niezależna; w tym elementarnym przypadku do stworzenia sieci potrzebne są dwie rzeczy: komputer i radiowa karta sieciowa. Każda stacja nadawczo odbiorcza posiada ten sam priorytet i komunikuje się z innymi komputerami bezpośrednio, bez żadnych dodatkowych urządzeń aktywnych kierujących ruchem w LAN-ie. Po prostu wystarczy "wsadzić" do komputera kartę radiową, zainstalować sterowniki, i już możemy rozkoszować się niczym nie ograniczoną komunikacją z innymi komputerami (z danej podsieci) wyposażonymi w karty radiowe. Nie wolno zapominać o ustawieniu we wszystkich urządzeniach tego samego identyfikatora domeny (Wireless domain ID), umożliwiającego komunikację tylko z wybranymi maszynami, i zabezpieczającego przed nieautoryzowanym użytkowaniem naszej sieci WLAN.

BSS (Basic Service Set) - sieć zależna; wyżej przedstawiona konfiguracja (IBSS) jest wystarczająca w przypadku małych, tymczasowych i niezorganizowanych sieci. Co jednak się stanie jeśli zapagniemy połączyć ją z kablową instalacją np. 10Base-T lub też zwiększyć zasięg poruszania się stacji roboczych? Tutaj konstruktorzy proponują urządzenie zwane HUB-em AP (Access Point, punkt dostępu, koncentrator radiowy). Ów element spełnia funkcję bardzo podobną do huba stosowanego w sieciach UTP, mianowicie wzmacnia i regeneruje odebrany sygnał oraz kieruje ruchem w LAN-ie. Teraz wszystkie stacje robocze należące do danej podsieci (domeny radiowej) nie komunikują się już bezpośrednio ze sobą lecz za pośrednictwem owego koncentratora. Maksymalna ilość komputerów obsługiwanych jednocześnie przez AP jest ściśle określona przez producenta i oscyluje w granicach kilkudziesięciu urządzeń. Takie rozwiązanie znacznie zwiększa zasięg sieci.

ESS (Extended Service Set) - sieć złożona; powstaje podczas połączenia ze sobą co najmniej dwóch podsieci BSS. Wystarczy zespolić ze sobą HUB-y AP tradycyjnym okablowaniem umożliwiając w ten sposób komunikację stacjom bezprzewodowym z tradycyjną siecią LAN oraz z jednostkami znajdującymi się w innych podsieciach radiowych. Jeśli przy okazji zapewnimy nakładanie się na siebie sygnałów z poszczególnych podsieci możliwe będzie poruszanie się komputerów po całej sieci ESS. Roaming umożliwia przekazywanie klientów kolejnym punktom dostępu, w ten sposób po wyjściu ze strefy zarządzanej przez jeden Access Point jesteśmy automatycznie przekazywani kolejnemu znajdującemu się akurat w zasięgu transmisji. Do łączenia podsieci WLAN można użyć specjalnych anten dookolnych.

2. Technologie sieci bezprzewodowych [4]

Instalatorzy sieci bezprzewodowych mają duży wybór rozmaitych technologii przy projektowaniu rozwiązań bezprzewodowych. Każda z nich ma swoje zalety, ale i ograniczenia.

2.1 Technologia wąskiego pasma (Narrow Band)

Wąskopasmowy system radiowy nadaje i odbiera informacje na określonej częstotliwości radiowej. Utrzymuje częstotliwość sygnału radiowego w jak najwęższym paśmie wystarczającym do przekazu informacji. Niepożądane przesłuchy pomiędzy kanałami komunikacyjnymi są eliminowane poprzez przydzielanie użytkownikom określonych pasm częstotliwości.

Prywatna linia telefoniczna jest podobna do częstotliwości radiowej. Każdy dom w okolicy ma swą własną linię telefoniczną. Ludzie w jednym domu nie mogą słyszeć rozmowy z innej linii. W systemie radiowym, prywatność i brak nakładania się sygnałów osiąga się przy użyciu oddzielnych częstotliwości radiowych. Odbiornik radiowy odfiltrowuje wszystkie sygnały radiowe oprócz sygnału o określonej dla niego częstotliwości.

2.2 Technologia szerokiego widma (Spread Spectrum)

Większość sieci bezprzewodowych używa technologii szerokiego widma. Technologia ta została opracowana na potrzeby wojska do użycia w stabilnych i bezpiecznych systemach komunikacyjnych o krytycznym znaczeniu. Technologia Spread-spectrum jest zaprojektowana tak by poświęcić prędkość transmisji (wydajność) na rzecz niezawodności, integralności i bezpieczeństwa. Innymi słowy, większa część całkowitej przepustowości jest zużywana w porównaniu z transmisją wąskopasmową, lecz dzięki temu sygnał jest w efekcie "głośniejszy" i łatwiejszy do odbioru, jeśli odbiornik zna parametry nadawanego sygnału. Jeśli odbiornik nie jest dostrojony do właściwej częstotliwości, sygnał szerokiego widma wygląda dla niego jak szum tła. Są dwa rodzaje technologii szerokiego widma: ang. frequency hopping and direct sequence.

2.3 Frequency-Hopping Spread Spectrum Technology (FHSS)

Frequency-hopping spread-spectrum (FHSS) używa wąskopasmowego nośnika, który zmienia częstotliwość według schematu znanego zarówno nadajnikowi jak i odbiornikowi. Właściwie zestrojona, sieć zachowuje pojedynczy kanał logiczny. Dla niepożądanego odbiornika, FHSS wygląda jak krótkotrwałe impulsów szumów.

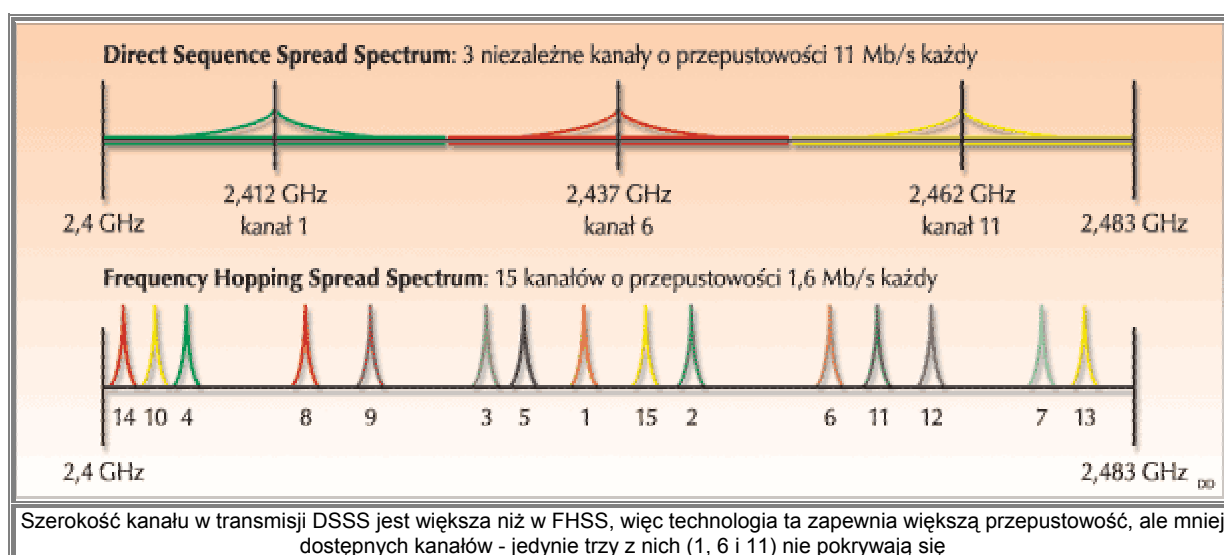
W technologii FHSS pasmo podzielone jest na 83 kanały o szerokości 1 MHz, informacje przesyłane są przez interfejs radiowy kanałem o szerokości 5 MHz z przepustowością do 1,6 Mb/s. Częstotliwość fali nośnej zmieniana jest skokowo (frequency hopping) co kilkaset ms, transmisja w rzeczywistości przebiega w prawie całym paśmie 2,4-2,5 GHz, co chwilę na innej częstotliwości. Jeśli na pewnej częstotliwości występują zakłócenia lub interferencje fal uniemożliwiające komunikację, przesyłanie danych jest kontynuowane po następnym skoku, na innej częstotliwości. FHSS jest przede wszystkim odporny na zakłócenia, doskonale nadaje się do wykorzystania w środowiskach przemysłowych czy zastosowaniach militarnych, gdzie ciągle zmiany częstotliwości fali nośnej utrudniają podsłuchanie sygnału. Może być jednak wykorzystany tam, gdzie nie jest potrzebna duża przepustowość (1,6 Mb/s w łączu internetowym czy zastosowaniach

logistycznych przeważnie wystarcza, natomiast w typowej, biurowej sieci LAN jest z reguły zbyt mała).

2.4 Direct-Sequence Spread Spectrum Technology (DSSS)

DSSS oferuje znacznie więcej. Obecne rozwiązania, zgodne ze standardem IEEE 802.11b, pracują z szybkością 11 Mb/s. Podstawowa różnica w działaniu sieci polega na tym, że w DSSS pasmo 2,4-2,5 GHz jest dzielone na kilkanaście kanałów (w Europie można używać kanałów z zakresu 1-13), komunikacja pomiędzy dwoma urządzeniami odbywa się na jednym z tych kanałów. Ponieważ kanały te są dość szerokie, wydajność takiej sieci jest znacznie większa. Jednak aby kanały nie zachodziły na siebie, odległość między ich centrami powinna wynosić przynajmniej 25 MHz. Warunek ten spełniają kanały 1, 6 i 11 o częstotliwościach 2412, 2437 i 2462 MHz (lub podobne kombinacje, np. 2, 7, 12). W praktyce dostępna liczba kanałów nie może więc być wykorzystana, co jest wadą DSSS.

Należy jednak pamiętać, że przepustowość sieci wykorzystujących DSSS, która wynosi nominalnie 11 Mb/s, w rzeczywistości jest znacznie mniejsza. Przez bardzo szerokie pasmo (prawie trzecią część całego pasma 2,4-2,5 GHz) przesyłane są nie tylko dane użytkownika, ale także mnóstwo nadmiarowych informacji, dzięki którym zapewniona jest niezawodna transmisja danych, ale dzieje się to kosztem wydajności ponieważ DSSS generuje nadmiarową sekwencję bitów, do każdego wysyłanego bita. Ta dodatkowa sekwencja jest nazywana chip (lub kod wtrącony, ang. chipping code). Im dłuższy chip, tym większa szansa, że oryginalne dane będą odebrane (i oczywiście pochłania więcej pasma). Nawet jeśli jeden lub więcej bitów w kodzie chip jest utracony podczas transmisji, techniki statystyczne zaimplementowane w odbiorniku pozwalają na odtworzenie danych bez potrzeby retransmisji. Dla niepożądanego odbiornika, DSSS wygląda jak szerokopasmowy szum o niskiej mocy i jest ignorowany przez większość wąskopasmowych odbiorników.



2.5 Technologia podczerwieni (IR)

Trzecia technologia, rzadko używana w komercyjnych sieciach bezprzewodowych to transmisja w podczerwieni. Systemy na podczerwień (IR) używają do przesyłania danych bardzo wysokich częstotliwości, tuż poniżej pasma widzialnego w spektrum elektromagnetycznym. Podobnie jak światło, IR nie może przenikać obiektów nieprzeźroczystych, jest to technologia zarówno kierunkowa (linia widzialności) jak i rozproszona. Niedrogie systemy kierunkowe oferują bardzo krótkie zasięgi, rzędu 1 metra i są zwykle stosowane w indywidualnych sieciach lokalnych, lecz czasami używają specyficznych aplikacji bezprzewodowych. Wysokowydajne kierunkowe systemy IR są niepraktyczne dla użytkowników przenośnych, i przez to stosowane jedynie w połączeniach podsieci. Rozproszona (lub odbłaskowa) technologia bezprzewodowa nie wymaga (linii widzialności), lecz komórki takiej sieci ograniczają się do jednego pomieszczenia.

3. Standardy sieci bezprzewodowych

3.1 Bluetooth [9]

Systemy Bluetooth pracują w paśmie częstotliwości 2,4 GHz, które jest przydzielone do wykorzystania przez systemy przemysłowe, naukowe i medyczne. Jest to nielicencjonowane pasmo ISM (Industrial, Scientific and Medicine). Niestety pasmo ISM nie ma jednakowej szerokości we wszystkich krajach świata. W większości państw świata zakres pasma ISM to 2,4000-2,4835 GHz. We Francji jednakże pasmo te zostało ograniczone do 2,4465-2,4835 GHz i produkty przeznaczone na ten rynek nie będą działały z urządzeniami specyfikacji Bluetooth, działających w pełnym zakresie pasma ISM. Grupa Bluetooth SIG prowadzi zakrojone na szeroką skalę działania, aby we wszystkich krajach świata pasmo ISM zostało ujednoczone, co pozwoliłoby przezwyciężyć problemy z kompatybilnością wszystkich systemów Bluetooth.

Wykorzystywane przez Bluetooth widmo ma 2 MHz odstęp ochronny od dołu i 3,5 MHz odstęp ochronny od góry (liczony od częstotliwości nośnej). Kanał radiowy zajmuje pasmo 1 MHz, a dopuszczalne odchylenie od częstotliwości nośnej nie może przekraczać 75kHz.

W transmisji radiowej stosowana jest modulacja binarna FM (GFSK, Gaussian Frequency Shift Keying) z parametrem $BT=0,5$ i indeksem modulacji 0,28 do 0,35. Odchylenie dodatnie częstotliwości oznacza bit „1”, zaś ujemne - „0”. Prędkość symbolowa transmisji danych wynosi 1 Mb/s. Minimalna dewiacja częstotliwości nie powinna być mniejsza niż 115 kHz. Kanał radiowy jest strukturą szczelinową. Dane przesyłane lokowane są w szczelinach czasowych o długości 625us, a dzięki technice dupleksowania przesyłania danych z podziałem czasu TDD (Time-Division Duplex) informacje mogą być przesyłane jednocześnie w obydwu kierunkach.

Praca systemów Bluetooth w paśmie ISM wiąże się z niebezpieczeństwem zakłóceń sygnałów przez szereg innych urządzeń, wykorzystujących również to pasmo. Inżynierowie, tworzący standard Bluetooth, rozwiązali problem zagłuszania sygnałów przez zastosowanie techniki rozpraszania widma sygnału z przeskokiem częstotliwości (Spread Spectrum with Frequency Hopping). Polega to na tym, że nadajnik nie pracuje na jednej częstotliwości, lecz zmienia ją z odpowiednią częstotliwością i zgodnie z pewną sekwencją skoków, tzw. hopów. Podobnie pracuje odbiornik, który nie dostraja się do jednej częstotliwości, lecz zmienia ją zgodnie ze znaną mu sekwencją. Zastosowanie takiej metody eliminuje również niebezpieczeństwo podsłuchu przesyłanych danych. Odbiornik, który nie będzie znał sekwencji przeskoków, nie będzie mógł odebrać przesyłanych danych. Sekwencja hopów jest pseudolosowa, unikalna w obrębie jednej pikosieci i określona przez adres BDA (Bluetooth Device Address) urządzenia, pełniącego rolę nadrzędną w pikosieci. Przeskoki odbywają się 1600 razy na sekundę, stąd wynika czas pracy w jednej szczelinie czasowej równej 625us. Szczeliny czasowe ponumerowane są od 0 do $2^{27}-1$ zgodnie z zegarem urządzenia-master w pikosieci. Podczas trwania szczeliny urządzenia typu master i slave mogą przysyłać pakiety.

W trybie „full duplex” stosowany jest typ transmisji TDD (Time-Division Duplex). Technika ta zapobiega wzajemnemu zagłuszaniu się urządzeń w sytuacji, kiedy wszystkie będą nadawać jednocześnie. Zasada działania polega na tym, że urządzenia typu master nadają pakiety w parzystych szczelinach czasowych, zaś urządzeniom typu slave przydzielone zostały szczeliny czasowe o numerach nieparzystych.

Przy transmisji pakietów, zajmujących więcej niż jedna szczelinę, częstotliwość pozostaje stała -taka jak przy pierwszej szczelinie pakietu - przez cały czas trwania pakietu. Bluetooth pozwala na zestawienie kanałów transmisyjnych synchronicznych (głos) i asynchronicznych (dane). W pierwszym przypadku mogą to być trzy równoległe kanały o maksymalnej przepustowości 64 kb/s w każdą stronę. Transmisja asynchroniczna może być niesymetryczna (721 kb/s w jedną i 57,6 kb/s w drugą stronę) lub symetryczna (432,6 kb/s w każdą stronę). Możliwa jest również praca w kanale mieszanym, w którym mogą być transmitowane zarówno dane jak i głos.

3.1.1 Struktura warstw w systemie Bluetooth

W standardzie Bluetooth, oprócz komunikacji radiowej, zdefiniowany jest również protokół komunikacyjny, który składa się z odpowiednich warstw logicznych. Warstwy te mogą być odpowiednio implementowane w oprogramowaniu urządzeń komunikujących się przez moduły Bluetooth, co w zależności od potrzeb może pozwolić aplikacjom na znalezienie w okolicy innych urządzeń Bluetooth, sprawdzenie, jakie usługi mogą one zaoferować i oczywiście skorzystanie z nich.

Struktura warstw transmisyjnych Bluetooth jest swoistym przewodnikiem który wykorzystują aplikacje wspierające moduł Bluetooth. Warstwy wyraźnie dzielą się na warstwę logiczną (programową) oraz fizyczną (sprzętową). Za konfigurację połączenia, realizację ustawień sprzętowych oraz sprawdzenie autentyczności odpowiedzialny jest moduł Link Manager. Odnajduje on inne jednostki LM i komunikuje się z nimi za pomocą protokołu LMP. HCI (Host Controller Interface) jest to warstwa sterująca, obsługująca zarządzanie fizycznymi parametrami połączenia. L2CAP (Logical Link Control and Adaptation Layer Protocol) pełni rolę warstwy usługowej i multipleksującej warstwy komunikacyjne. RFCOMM to warstwa transportowa, emulująca łącze szeregowo RS232. Moduł AUDIO oznacza dane cyfrowe z zewnętrznego kodeka. Opcjonalnie pozwala na obsługę danych audio z poziomu aplikacji użytkownika. Protokołem wymiany plików adoptowanym z IrDA jest OBEX. Dzięki WAE/WAP (Wireless Application Environment/Protocol) mamy możliwość obsługi WML i HTML przez TCP/IP, co w rezultacie daje nam bezprzewodowy dostęp do Internetu. AT Commands pozwala na obsługę poleceń modemu AT. Protokół ustanawiania połączeń telefonicznych oznaczony został przez TCS *ETN* (Telephony Control protocol Specification Binary). Protokół SDP (Service Discovery Protocol) służy do wykrywania usług pomiędzy urządzeniami Bluetooth.

3.4.1 Klasy nadajników

Specyfikacja Bluetooth wyróżnia, ze względu na moc, trzy klasy nadajników:

- Klasa 1 = 100mW(20dBm)
- Klasa 2 = 2,5 mW (4 dBm)
- Klasa 3 = 1 mW (0 dBm)

Poszczególne klasy nadajników pozwalają na dołączanie urządzeń znajdujących się w różnej odległości. Obecnie najpowszechniej stosowane są nadajniki klasy 3, których zasięg wynosi 10 m. Jednakże w pomieszczeniach zamkniętych, takich jak pokoje mieszkalne, czy biura, gdzie dodatkowo znajdują się meble oraz ludzie, które absorbują mikrofalę, realny zasięg dochodzi do ok. 5m.

Nadajniki klasy 1 mają zasięg nawet do 100 m. Nominalny poziom mocy nadajnika Bluetooth ustalono na 0 dBm zgodnie z zaleceniami ISM, według których moc emitowana nie powinna przekraczać wspomnianego poziomu. Pełny zakres mocy nadajnika rozciąga się od -30 do 20 dBm . Czułość odbiornika zdefiniowana jako poziom wejściowy sygnału, dla którego

współczynnik błędu pojedynczego bitu (BER) osiąga 0,1%, wynosi -70 dBm. Maksymalny poziom sygnału na wejściu odbiornika wynosi -20 dBm.

Nadajniki Bluetooth nie powinny także znajdować się za blisko siebie, ponieważ powoduje to nasycenie odbiornika. Minimalna odległość pomiędzy dwoma urządzeniami Bluetooth wynosi 10cm.

3.4.2 Połączenia w systemie Bluetooth

Bluetooth pozwala na szybkie skonstruowanie bezprzewodowych, radiowych sieci łączących odpowiednie urządzenia wyposażone w moduły nadawczo-odbiorcze Bluetooth. Takie połączenia realizowane są zawsze w relacjach master-slave. Jest możliwość zestawienia dwóch rodzajów łączy między urządzeniami typu master i slave

- łączy typu point-to-point – jest połączeniem dwóch urządzeń Bluetooth z których jedno pełni rolę urządzenia nadrzędnego (master) natomiast drugie podrzędnego (slave);
- łączy typu point-to-multipoint tworzy sieć składającą się z maksymalnie ośmiu urządzeń, które określa się pikonetem. Kilka pikonetów dzięki jednemu z urządzeń wchodzących w skład sieci, może współpracować ze sobą, tworząc większy konglomerat (scatternet).

3.2 Standard IrDA [6]

Standard łączności oparty na przesyłaniu danych za pomocą światła podczerwonego (IrDA), staje się obecnie szeroko dostępnym na komputerach osobistych oraz innych urządzeniach zewnętrznych, jest to niedroga oraz efektywna łączność między urządzeniami różnego typu. Standard IrDA rozwijał się bardzo szybko (w porównywaniu do innych standardów), a informacja dotycząca protokołów Irda znana jest już i stosowana na całym świecie. Obecnie specyfikacja IrDA uległa przyspieszeniu ze względu przystosowanie jej do standardu ISO. Komunikując się przy pomocy protokołu mamy do czynienia z wieloma zagadnieniami, powszechnie wykorzystuje się z podstawowe warstwy protokołu. Jeśli jednak chcemy zapewnić bezpieczeństwo oraz elastyczność w przesyłaniu danych korzysta się także z innych warstw.

Obecnie standard ten jest implementowany w większości komputerów przenośnych, a także niektórych modelach komputerów osobistych, drukarek czy aparatów cyfrowych. Standard ten składa się z kilku protokołów podzielonych na warstwy, korzystających wzajemnie ze swoich usług. Charakteryzuje się :

- prostą i taną implementacją,
- małym poborem mocy,
- połączeniami bezpośrednimi typu punkt-punkt,
- wydajnym i pewnym transferem danych.

Jednym z protokołów jest IrCOMM, pozwalający na emulację portu szeregowego lub równoległego. Następnym jest IrLAN - protokół dostępu do sieci LAN, który umożliwia: dołączenie komputera do sieci LAN poprzez urządzenie dostępowe - popularne np. w Japonii; połączenie do sieci LAN poprzez inny komputer już połączony - w tym przypadku oba komputery współdzielą adres MAC; komputer połączony za pomocą IrLAN jest widziany wtedy jako zasób na komputerze stacjonarnym; utworzenie sieci LAN z dwóch komputerów łączących się ze sobą. Są jeszcze protokoły: IrOBEX - do wymiany plików, TinyTP - zapewniający niezawodność transmisji. Wymienione protokoły, istotne z punktu widzenia użytkownika, są nieobowiązkowe implementuje się je zależnie od potrzeb, co pozwala zmniejszyć koszty rozwiązań.

Kompatybilność urządzeń zapewniają wspólne protokoły warstwy fizycznej i łącza danych. Dzięki temu IrDA charakteryzuje się: łatwością dodawania nowych usług przez dodanie protokołu warstwy aplikacyjnej, możliwością zwiększenia szybkości w następnych wersjach, bez utraty kompatybilności ze starszymi oraz możliwością uzyskania pewnych oszczędności przez implementowanie tylko części protokołów (np. aparat cyfrowy niekoniecznie musi mieć protokół IrLAN). Obecnie wykorzystywane są dwie wersje IrDA: 1.0 i 1.1. W pierwszej maksymalna prędkość transmisji wynosi 115 kb/s, a w drugiej 4 Mb/s. Przygotowywana jest wersja pozwalająca na transmisję danych z szybkością 16 Mb/s.

Urządzenia nawiązują połączenie z prędkością 9600 b/s oraz ustalają maksymalną prędkość transmisji. Każde połączenie jest typu punkt-punkt, przy czym maksymalna odległość między urządzeniami wynosi do 3 m, muszą się one widzieć, maksymalny kąt odchylenia przy którym transmisja będzie jeszcze zachodzić wynosi 15°. W ten sposób wiele połączeń IrDA może pracować obok siebie bez zakłóceń.

3.2.1 Warstwy w standardzie IrDA

Warstwa Fizyczna - specyfikuje optyczny nadajnik-odbiornik, oraz ma za zadanie odpowiednie kształtowanie sygnałów w podczerwieni włączając do tego kodowanie danych, oraz ich opakowanie, również specyfikacja optyczna oraz zakres prędkości.

Warstwa IrLAP - znajduje się bezpośrednio nad warstwą fizyczną, nazywana także Link Access Protocol, lub w skrócie LAP. IrLAP jest wymaganą warstwą w protokole IrDA, odpowiada warstwie drugiej (Data link Protocol). Dostarcza godnego zaufania mechanizmu przesyłu danych, w skład którego wchodzi:

- retransmisja .
- kontrola potoku na niskim poziomie. (TinyTP dostarcza kontroli wysokiego poziomu i powinien niemal zawsze być używany zamiast kontroli w warstwie IrLAP).
- detekcję błędów.

Do najważniejszych usług IrLAP zaliczamy:

- Device Discovery (Wykrywanie urządzeń): Przeprowadza badania najbliższej przestrzeni - Ir, żeby zorientować się kto jest obecny w przeszukiwanym obszarze oraz sprawdza czy dane urządzenie jest w czasie wykonywania jakiejś operacji.
- Connect (łączenie): Wybiera właściwego partnera do połączenia, oraz prowadzi uzgadnianie w celu uzyskania możliwie najlepszych.
- Parametry komunikacji wspierane przez obie strony, oraz nawiązywanie połączenia.
- Send Data (wysyłanie danych): Wysyłanie danych przez wyższe warstwy protokołu.
- Disconnect (rozłączanie): Kończy połączenie i powraca do stanu NDM, w celu umożliwienia nawiązania nowego połączenia.

Warstwę IAS - odpowiada za informacje o dostępnych usługach, jest dla urządzeń IrDA, jak dla człowieka "żółte strony" w książce telefonicznej. Wszystkie usługi aplikacji dostępne dla nawiązywanych połączeń muszą mieć swoją pozycję w IAS gdyż decydują o adresie usługi (Lsap Sel). IAS potrafi też odpowiadać na dodatkowe pytania o usługach. Pełna implementacja IAS składa się z klienta oraz serwera. Klient służy do przekazania informacji o usługach dla innego urządzenia lub składania zapytania używając Information Access Protocol (IAP - używany jest tylko przez IAS). Serwer wie natomiast w jaki sposób odpowiadać na pytania o informacje od klienta IAS. Serwer używa informacyjnej bazy obiektów uzupełnianej przez lokalne usługi oraz aplikacje.

Warstwa IrLMP - korzysta z pewnego kontaktu uzgodnionego i dostarczonego przez warstwę IrLAP. IrLMP jest ważną warstwą protokołu IrDA, posiadającą następujące cechy:

- Multiplexing pozwala różnym klientom IrLMP korzystać z pojedynczego łącza IrLAP.
- Przechwytywanie konfliktu Adresu. Służy wychwyceniu urządzeń z identycznym adres IrLaP oraz nakazanie wygenerowania nowego adresu.
- Information Access Service (IAS). (Informacja dostępnych usług). Nadaje tzw. "żółte kolor strony" określając w ten sposób usługi dostępne dla urządzenia.

3.2.2 Warstwy opcjonalne w protokole IrDA

Warstwy opcjonalne w protokole IrDA mogą być użyte dowolnie w zależności od wymagań poszczególnych aplikacji.

TinyTP - Tiny Transport Protocol jest to protokół, który dostarcza dwie ważne funkcje, kontrolę przepływu danych przez połączenie LMP (kanał) oraz Sar czyli segmentacje oraz ponowny montaż danych. TinyTP dodaje jeden bajt informacji do każdej ramki IrLMP.

IrOBEX - The Object Exchange Protocol jest opcjonalną warstwą protokołu IrDA zaprojektowaną, aby umożliwić systemom dowolnych rozmiarów wymianę szerokiego zakresu różnych danych oraz rozkazów za pomocą sprecyzowanych i standardowych modeli. Warstwa ta korzysta z pojedynczych adresów wspólnych dla aplikacji na którymkolwiek PCs albo w systemie operacyjnym (bierze dowolny obiekt danych na przykład plik, i wysyła go do jakiegokolwiek urządzenia z portem podczerwieni). Dostarcza również kilku narzędzi umożliwiających obiektowi rozpoznawanie i inteligentnie zarządzanie po stronie odbiorcy. Zakres obiektów jest szeroki, obejmuje nie tylko tradycyjne pliki, ale też telefoniczne wiadomości, cyfrowe obrazy, bazy danych. Wspólnym mianownikiem jest to, że aplikacja jeśli chce pobrać lub wysłać dane bez żadnych komplikacji da sobie z tym radę. Jest to metoda bardzo podobna do roli jaką odgrywa HTTP w Internecie.

IrCOMM - Emulacja szeregowego i równoległego portu.

Kiedy standardy IrDA były rozwijane istniało silne zapotrzebowanie aby aplikacje PC, który używały szeregowych oraz równoległych portów mogły korzystać z połączenia IrDA bez zmieniania ich kodu. Mimo że, łączność za pomocą IrDA różni się znacząco od szeregowego lub równoległego sposobu łączności. Np: zarówno szeregowo jak równoległe połączenie ma indywidualne obwody po których sygnały potrafią być nadawane niezależnie i jednocześnie, przeciwie do światła podczerwonego które ma pojedynczy kierunkowy przesył danych i wszystkie informacje w ramce danych muszą być zgodne z warstwą LMP lub wyższą. Standard IrCOMM był rozwijany aby rozwiązywać te problemy i pozwolić aplikacjom korzystać z łączności za pomocą podczerwieni. Kluczową cechą IrCOMM jest definicja tak zwanego kanału sterującego. Warstwa protokołu, IrCOMM jest powyżej IrLMP oraz TinyTP. IrCOMM jest obieralną warstwą protokołu IrDA, która jest używana tylko do pewnych zastosowań. W ogóle, jeśli chodzi o nowe rozwiązania lepiej jest unikać warstwy IrCOMM i używać innych warstw protokołu IrDA w aplikacjach takich jak: IrOBEX , IrLAN, lub TinyTP. Ponieważ maska IrCOMM oraz inne cechy tej warstwy są przystosowane do niższych warstw protokołów. Mimo to, jego praca przekształca IrDA w szeregowo oraz równoległe medium które ma wygodne w użyciu cechy jak automatyczne negocjacje najlepszych wspólnych parametrów oraz " żółte strony " dostępnych usług.

IrLAN - Local Area Network Access jest końcowym dowolnym protokołem IrLAN. Służy do wygodnego połączenia między przenośnymi PC a siecią lokalną. Umożliwia przyłączanie komputera do sieci przez punkt dostępowy (Ir Lan adaptator) a także komunikowanie się dwóch komputerów tak jakby były przyłączone do sieci.

3.3 Standard HomeRF 2.0

HomeRF 2.0, pracujący z prędkością do 10 Mbps, jest standardem zapewniającym wysokowydajną łączność bezprzewodową dla domowych zastosowań multimedialnych i jedynym obsługującym wysokiej jakości przesyłanie głosu. Użytkownicy HomeRF 2.0 mogą przysyłać głos, dane oraz strumienie audio-wideo pomiędzy różnymi produktami HomeRF służącymi do pracy i zabawy - w tym komputery PC, terminale WEB, urządzenia PDA, telefony bezprzewodowe, głośniki bezprzewodowe oraz coraz większą ilość urządzeń audio i telewizyjnych. Dla użytkowników domowych, użycie technologii HomeRF oznacza uwolnienie się od zakłóceń pochodzących z urządzeń takich jak kuchenki mikrofalowe, urządzenia Bluetooth, czy pobliskich sieci bezprzewodowych DSSS 2.4GHz 802.11b. HomeRF jest jedyną bezprzewodową technologią sieciową zaprojektowaną całkowicie dla klienta indywidualnego, skoncentrowaną na takich aspektach jak łatwość instalacji i przystępną cenę. Tak więc produkty HomeRF są proste w użyciu, bezpieczne, niezawodne i nie drogie.

W ramach projektu Home Radio Frequency powstał SWAP - Shared Wireless Access Protocol. Opracowany na podstawie IEEE 802.11 i DECT miał jedno zadanie: ograniczyć cenę urządzeń przez stworzenie standardu prostszego od 802.11. Warstwa fizyczna jest jedna, oparta na FHSS. Jednocześnie, zgodnie z duchem konwergencji, protokół miał być dostosowany do przenoszenia zarówno danych, jak i głosu, co odróżniało go od 802.11. To drugie zostało osiągnięte przez zaczerpnięcie technologii ze standardu telefonii bezprzewodowej DECT. Z połączenia DECT i 802.11 powstaje hybryda CSMA/CA (dane) + TDMA (dźwięk) dobra dla małych domowych sieci. W ramach sieci możemy mieć cztery telefony i 127 urządzeń do transmisji danych. W podstawowej konfiguracji mamy punkt łączący z siecią PSTN, służący za coś w rodzaju stacji bazowej dla telefonów w obrębie sieci. W przypadku braku telefonów można zrezygnować z punktu centralnego.

Prędkość efektywnie wynosząca 600 kbps nie wydaje się duża w stosunku do konkurencji 802.11b czy 802.11a, ale jak na warunki domowe jest odpowiednia; dużym atutem jest też cena. Proponowana następna wersja standardu, dzięki użyciu również kanałów o szerokości 3 i 5 MHz wraz z dotychczasowym o szerokości 1 MHz, ma zwiększyć prędkość do 10 Mbps. Na razie nie wiadomo, czy taka zmiana nastąpi. 802.11 DSSS używa całego pasma 2,4 GHz, traktując inne transmisje jako szum. Jednym z plusów modulacji szerokopasmowej z rozpraszaniem widma jest możliwość niwelowania zakłóceń wąskopasmowych. Poszerzony kanał transmisji HomeRF będzie widział 802.11 DSSS jako źródło szumu o pięciokrotnie wyższym natężeniu.

HomeRF ma również przewagę nad 802.11 ze względu na mnogość implementacji. Swoje rozwiązania WLAN wykorzystujące HomeRF oferuje m.in. Proxim, a i inne firmy tworzące HomeRF są potentatami w swoich branżach. Największym konkurentem dla HomeRF jest obecnie Bluetooth, mający podobne parametry i cieszący się znacznie większą sławą w mediach. Wbrew wizji Bluetooth - PAN (Personal Area Network), HomeRF - WLAN, może się okazać, że HomeRF zostanie wyparte ze swojego miejsca. Co prawda Bluetooth de facto jest tylko zastąpieniem kabla, a HomeRF siecią WLAN z prawdziwego zdarzenia, ale przeciętny użytkownik pyta o efekty, a nie założenia ideowe.

3.4 Standard HiPeRLAN [3] [6]

HiPeRLAN (ang. High Performance Radio Local Area Network) jest europejskim standardem transmisji radiowej w sieciach lokalnych. Standard ten został opracowany przez ETSI i zapewnia dużą prędkość transmisji, umożliwiającą zastosowanie go w aplikacjach multimedialnych. Podobnie jak standard IEEE 802.11, także HiPeRLAN przewiduje możliwość tworzenia zarówno sieci stałych, będących rozszerzeniem sieci przewodowej, jak i sieci tymczasowych.

Architektura standardu HiPeRLAN

W ramach standardu HiPeRLAN zdefiniowano:

- warstwę fizyczną, w której określono m.in. pasma częstotliwości oraz sposób transmisji danych,
- podwarstwę MAC, obejmującą m.in.:
 - dostęp stacji do łącza,
 - realizację funkcji mostu,
 - transmisję wieloetapową,
 - specyfikację jednostek danych
- podwarstwę CAC (ang. Channel Access Control sublayer), obejmującą m.in.:
 - specyfikację protokołu dostępu do łącza,
 - opis typów ramek przesyłanych na poziomie podwarstwy.

Podwarstwy MAC oraz CAC stanowią dolną część warstwy liniowej modelu OSI/ISO i mogą współpracować z rozwiązaniami zgodnymi ze standardem IEEE 802.2 (ISO 802.2). Ponadto standard zapewnia obsługę zgłoszeń asynchronicznych oraz z ograniczeniami czasowymi we wspólnym kanale.

3.4.1 Warstwa fizyczna

Na potrzeby standardu HiPeRLAN zarezerwowano w Europie pasma 5,15 - 5,3 GHz oraz 17,1 - 17,3 GHz. Oba pasma podzielono na kanały o szerokości 25 MHz, a na granicach pasm znajdują się przedziały ochronne o szerokości 12,5 MHz. W niższym zakresie częstotliwości dostępnych jest zatem pięć kanałów, z których trzy (o numerach 0, 1 i 2) są dostępne do transmisji, pozostałe zaś wykorzystywane są opcjonalnie.

Transmisja ramek odbywa się z dwiema prędkościami:

- małą LBR (ang. Low Bit Rate), równą 1,4706 Mb/s
- dużą HBR (ang. High Bit Rate), równą 23,5294 Mb/s

Prędkość HBR jest wykorzystywana m.in. do transmisji fragmentów ramek danych, natomiast prędkość LBR stosuje się do wymiany informacji sterujących. Dla prędkości LBR stosuje się modulację częstotliwości FSK, a dla HBR - modulację GMSK z parametrem BT=0,3. Maksymalny zasięg transmisji wynosi 50 m przy większej prędkości i 800 m przy mniejszej. Dopuszcza się przemieszczanie stacji z prędkością do 10 m/s bez konieczności przerwania połączenia. Maksymalna moc nadajnika wynosi 1 W w paśmie 5,15 - 5,30 GHz i 100 mW w paśmie 17,1 - 17,3.

3.4.2 Format ramki

Na poziomie podwarstwy CAC standardu HiPeRlan używane są ramki danych, potwierżeń i przydziału dodatkowych kanałów. Ramki potwierżeń zawierają jedynie część LBR, a więc cała ramka przesyłana jest z niższą prędkością. Pozostałe ramki składają się zarówno z części LBR, jak i HBR.

Część LBR ramki danych składa się z 35 bitów i zawiera:

- preambułę o wartości 10101001b,
- wskaźnik obecności części HBR,
- skrócony adres docelowy,
- wskaźnik długości bloku.

Adres docelowy i wskaźnik długości chronione są indywidualnymi, 4-bitowymi sumami CRC. Przekłamania mogą być ignorowane, jeżeli ramka ma część HBR, a błąd wystąpił w fragmencie, który jest w tej części powtórzony.

3.5 WLAN IEEE 802.11b [5]

Norma 802.11b została zatwierdzona przez IEEE we wrześniu 1999. Zapewnia ona transmisję do 11 Mb/s w pasmie 2,4 MHz. Podobnie jak w innych systemach bezprzewodowych autorzy zdefiniowali tylko dwie najniższe warstwy odpowiadające OSI: fizyczną i łącza danych wraz z podwarstwą MAC.

W normie tej zdefiniowano również dwa podstawowe składniki: komputer osobisty lub notebook wraz z kartą sieciową oraz punkt dostępu - AP (*Access Point*), który funkcjonuje jak most między bezprzewodowymi stacjami lub między stacjami a systemem dystrybucyjnym, czyli siecią przewodową.

802.11b funkcjonuje w dwu trybach: infrastrukturalnym i ad hoc. Do uruchomienia tego pierwszego potrzebny jest przynajmniej jeden punkt dostępu przyłączony do systemu dystrybucji. Z punktu widzenia sieci domowych ciekawy jest tryb *ad hoc*, jeśli oczywiście domownicy nie chcą korzystać z zasobów sieci lokalnej. W tym przypadku nie trzeba instalować żadnego punktu dostępu.

Sieć tymczasowa (ang. ad-hoc), nie posiadająca elementów stałych, tworzone są zazwyczaj na czas spotkania, konferencji itp. Składają się one z pewnej liczby komputerów przenośnych, które mogą wymieniać między sobą informacje. Sieci tego typu nie posiadają dostępu do zasobów sieci przewodowej ze względu na brak elementów pośredniczących w transmisji.

Sieć stacjonarna (ang. infrastructure), zawierająca pewne elementy stałe, w tym połączenie z siecią przewodową. Posiadają bardziej rozbudowaną strukturę, zawierającą elementy stałe. Należą do nich tzw. Punkty dostępu (ang. access point), które pośredniczą w transmisji między siecią przewodową i bezprzewodową. Punkty dostępu są połączone przewodem sieciowym i pełnią w przybliżeniu funkcję stacji bazowych telefonii komórkowej. Sieć taka może składać się z jednej lub wielu komórek, zależnie od potrzeb mogą w niej także występować komputery posiadające wyłącznie środki łączności przewodowej.

3.5.1 Warstwa fizyczna

Warstwa ta obejmuje fizyczny interfejs między urządzeniami i zajmuje się transmitowaniem bitów w kanałach komunikacyjnych. W technologii 802.11b zaimplementowano system umożliwiający dynamiczne dostosowanie się do poziomu zakłóceń. W zależności od tego poziomu osiągnięta przepływność może wynieść 11, 5,5, 2 i 1 Mb/s. Systemy 802.11 mogą stosować modulację DSSS (*Direct Sequence Spread Spectrum*) i FHSS (*Frequency Hopping Spread Spectrum*). W USA nie można stosować modulacji FHSS dla przepływności przekraczających 2 Mb/s z uwagi na regulacje komisji federalnej - FCC (*Federal Communications Commission*). Dlatego większość systemów 802.11b wykorzystuje modulację DSSS.

Warstwa fizyczna dzieli się na dwie podwarstwy: PLCP (*Physical Layer Convergence Protocol*) i PMD (*Physical Medium Dependent*). PMD jest odpowiedzialna za kodowanie, PLCP daje wspólny interfejs dla sterowników wyższych warstw.

Przewidziano trzy warianty warstwy fizycznej:

- fale radiowe z rozpraszaniem widma metodą kluczenia bezpośredniego,
- fale radiowe z rozpraszaniem widma metodą przeskoków częstotliwości,
- fale optyczne z zakresu bliskiej podczerwieni.

Dla każdego rodzaju medium stosowane są prędkości 1 Mb/s oraz 2 Mb/s, przy czym większa prędkość transmisji stosowana jest opcjonalnie podczas przesyłania danych użytkowych; informacje sterujące, w tym nagłówki ramek danych, przesyłane są zawsze z prędkością 1 Mb/s. W chwili obecnej dane w standardzie IEEE 802.11b, przesyłane są z prędkością transmisji 5,5 oraz 11 Mb/s.

W przypadku fal radiowych z rozpraszaniem widma metodą kluczenia bezpośredniego przyjęto różnicową modulację fazy ze stałą prędkością 1 Mb/s. Oznacza to, że dla prędkości transmisji 1 Mb/s stosowana jest modulacja binarna DBPSK, a dla 2 Mb/s - kwadraturowa DQPSK. Przebieg rozpraszający jest 11-bitowym ciągiem Barkera o prędkości 11 Mb/s. W przydzielonym paśmie 2,4 - 2,4835 GHz określono 12 kanałów częstotliwościowych o szerokości 5 MHz.

W przypadku fal radiowych z rozpraszaniem widma metodą przeskoków częstotliwości przyjęto modulację częstotliwości z filtrem Gaussa ze stałą prędkością 1 Mb/s. Oznacza to, że dla prędkości transmisji 1 Mb/s stosowana jest modulacja binarna 2 - GFSK, a dla 2 Mb/s - kwadraturowa 4 - GFSK. W przydzielonym paśmie 2,4 - 2,4835 GHz określono 79 kanałów o szerokości 1 MHz i 78 wzorców przeskoków.

W przypadku fal optycznych przyjęto rozproszoną emisję fal. Dla prędkości 1 Mb/s stosuje się modulację 16-PPM, a dla 2 Mb/s - 4-PPM. Zasięg transmisji fal optycznych wynosi około 10 m.

3.5.2 Podwarstwa MAC

Podwarstwa MAC służy jako interfejs między warstwą fizyczną a komputerem. Obsługuje obydwie wcześniej wymienione tryby. Dwiema najważniejszymi funkcjami tej podwarstwy są: cykliczna kontrola nadmiarowości CRC (*Cyclic Redundancy Check*) i fragmentacja pakietów. Dzięki tej drugiej funkcji duże pakiety mogą być wysyłane w mniejszych fragmentach. Ma to dwie zalety. Pierwsza polega na zredukowaniu retransmisji pakietów - prawdopodobieństwo uszkodzenia pakietu wzrasta wraz ze wzrostem jego długości. Druga korzyść: w razie błędu węzeł musi dokonać retransmisji tylko niewielkiego fragmentu całości, co jest dużo szybsze.

3.5.3 Format ramki

Ramka w standardzie IEEE 802.11 stanowi podstawową jednostkę informacji wymienianych pomiędzy stacjami, tym niemniej pełna jednostka protokołu może składać się z ciągu ramek.

Każda ramka zawiera następujące pola:

- nagłówek dopasowujący do wymagań warstwy fizycznej (ang. PHY Adaptation Header),
- typ ramki (ang. type field), określający, czy w ramce stosowano kompresję bądź szyfrowanie oraz sposób dostępu do medium,
- sterujące (ang. control field),
- identyfikator protokolarnej jednostki danych,
- adres odbiorcy ewentualnie nadawcy wraz z identyfikatorem sieci (ang. Network ID),
- elementy sterujące i zależne od typu ramki,
- dane podwarstwy LLC (tylko w ramach danych),
- sumę kontrolną CRC 8- lub 32-bitową, zależnie od typu ramki.

3.5.4 Kolizje [3]

Ze względu na użycie specjalnych technik transmisji eksploatacja sieci radiowych wiąże się z nietypowymi problemami. Bezprzewodowa stacja nadawcza nie może np. wykryć jakichkolwiek kolizji sygnałów, ponieważ jej własny sygnał "zagłusza" emisje pochodzące z innych stacji. Z tego właśnie powodu nie stosuje się typowego dla klasycznych sieci typu Ethernet dostępu typu CSMA/CD (Carrier Sense Multiple Access with Collision Detection). Zamiast niego w sieciach typu WLAN wykorzystuje się inną technikę zapobiegania kolizjom - CSMA/CA (Carrier Sense Multiple Access with Collision Avoidance). Działa ona według schematu "listen before you talk", czyli posłuchaj zanim zaczniesz nadawać. W przypadku sieci IBSS gotowa do nadawania stacja prowadzi najpierw nasłuch sieci, aby sprawdzić, czy nie odbywa się właśnie jakaś wymiana danych. Jeżeli w określonym przedziale czasowym nie wykryje ona żadnego sygnału przesyłania, przełącza się w tryb gotowości do nadawania i czeka jeszcze raz. Jeżeli w dalszym ciągu nie zostanie wykryta jakakolwiek transmisja danych, stacja rozpocznie emisję. Opisany mechanizm kontrolny nosi nazwę Clear Channel Assessment (CCA). O ile przedstawiona metoda zabezpiecza przed kolizjami w przypadku niezależnych sieci typu IBSS, to niestety nie zdaje egzaminu dla instalacji wykorzystujących Access Pointy. W tych ostatnich strukturach pojawia się bowiem problem tzw. ukrytego węzła (Hidden Node). Z uwagi na fakt, że stacje robocze w instalacjach BSS oraz ESS mogą się znajdować w dwukrotnie większej odległości, niż wynosi ich zasięg nadawania, mechanizm kontrolny CCA okazuje się nieskuteczny. Problem rozwiązuje rozdzielenie mechanizmów kontroli dostępu do sieci pomiędzy stacje robocze. Z tego też względu źródło danych wysyła najpierw ramkę RTS (request to send), która dla innych stacji stanowi sygnał, że sieć jest zajęta. Stacja odbierająca potwierdza ten komunikat ramką CTS (Clear to send) i uniemożliwia innym użytkownikom wysyłanie danych. Obie ramki (RTS i CTS) zawierają informacje o rezerwacji sieci. Stacje nie uczestniczące w transmisji zapamiętują te dane na dyskach, co stanowi dodatkowe zabezpieczenie przed wystąpieniem kolizji. Po wymianie komunikatów RTS/CTS rozpoczyna się właściwa transmisja danych. Operację tę kończy sygnał ACK (Acknowledge) pochodzący od stacji odbierającej. Jeśli sygnał ten się nie pojawia, oznacza to, że wystąpiła jakaś kolizja w sieci lub powstał błąd transmisji, a cała procedura przesyłu danych rozpoczyna się od nowa. Przedstawiona technika kontroli dostępu nosi nazwę Distributed Coordination Function (DCF).

3.5.5 Opcje bezpieczeństwa

Standard 802.11b definiuje kilka poziomów bezpieczeństwa. Najniższy to System ID, znany także jako Electronic System ID, SSID albo ESSID. Kolejnym jest lista dostępu ACL. Taka lista zawiera adresy MAC systemów, które są upoważnione i mają dostęp do sieci za pośrednictwem punktu dostępu. W większości kart interfejsowych można zmienić adresy MAC w setup'ie. Bardziej znacząca w zarządzaniu jest konieczność zapisania listy ACL w każdym punkcie dostępu, który jest zarządzany.

Wspomniane opcje bezpieczeństwa dokonują autoryzacji komputerów wchodzących do akcji, nie użytkownika. Na ostatnim poziomie zabezpieczenia dostępu jest RADIUS (Remote Authentication Dial-in User Service). Ma on tę przewagę, że identyfikuje użytkownika zamiast urządzenia. Ponadto może być centralnie zarządzany. Definiuje m.in. sposób wymiany danych między serwerem ochrony danych a serwerem dostępu zdalnego, przypisując temu ostatniemu rolę klienta. W ten sposób decyzję o dopuszczeniu zdalnego użytkownika do sieci lokalnej, komunikującego się z serwerem dostępu, podejmuje serwer ochrony danych. Po uzyskaniu dostępu wszystkie sesje użytkownika będą monitorowane przez RADIUS. Dowolny schemat zawierający hasło jest podatny na złamanie, szczególnie przy nieostrożnym jego stosowaniu, ale RADIUS daje administratorowi centralną pozycję, dzięki której wyłącza on użytkownikowi dostęp do sieci, co stanowi znaczny postęp w stosunku do poprzednich metod. Zespół testujących ekspertów zdecydowanie preferował właśnie ten protokół.

Po uzyskaniu dostępu następnym krokiem jest szyfrowanie. WEP (Wire Equivalent Privacy) może stosować 40- lub 128-bitowy klucz szyfrujący. WEP jest domyślnie wyłączony we wszystkich testowanych produktach. Naukowcy przeprowadzający badania sugerują zmianę tego ustawienia i włączenie tej opcji podczas instalowania. Każde urządzenie może mieć 4 klucze WEP i menedżer systemowy może decydować, który z nich zostanie użyty. Można także używać oddzielnych kluczy dla nadawania i odbioru. Zarządzanie kluczami WEP może okazać się dla administratora zasobów poważnym zadaniem.

4. Część Praktyczna

Łącza radiowe WLAN mogą być optymalnym rozwiązaniem w sytuacji, w której połączenie dwóch odległych od siebie sieci LAN (tzw. połączenie w konfiguracji "punkt-punkt") łączem światłowodowym jest zbyt drogie lub niemożliwe do realizacji np. w mieście z uwagi na brak prawa do terenu. Technologię WLAN można również wykorzystać do połączenia pojedynczych komputerów w sieci LAN (tzw. połączenie w konfiguracji "punkt-wielopunkt"). Takie zastosowanie może zostać wykorzystane przez firmy świadczące usługę dostępu do Internetu, a także w przypadkach gdy położenie normalnego okablowania jest niemożliwe np. w przypadku budynków zabytkowych lub nieopłacalne np. na terenie dużych zakładów przemysłowych, poligonów wojskowych, lotnisk, portów, w halach magazynowych, dużych kompleksach szpitalnych itp. Łatwość i niski koszt instalacji sieci komputerowej na dużym obszarze predestynuje sieci WLAN do zastosowań tymczasowych np. na obszarze obiektów targowych, budów, zawodów sportowych, kłesk żywiołowych itp. Zaletą sieci WLAN jest możliwość transmisji danych z obiektów ruchomych takich, jak np. wózki widłowe w magazynach, pojazdy dostawcze i pilotujące na budowach, lotniskach i w portach morskich.

Za ich pomocą można oczywiście realizować dostęp do Internetu i można też powiedzieć, że jest to medium, które może znaleźć zastosowanie w każdym obszarze zamieszkiwania człowieka - od centrów miast do peryferii i obszarów wiejskich.

W miastach często okazuje się, że okablowanie stałe jest kłopotliwe w realizacji, np. przez ulicę, ale można problem rozwiązać za pomocą niedrogiego łącza zestawionego z elementami sieci bezprzewodowej WLAN. Takie same elementy aktywne wyposażone w anteny kierunkowe mogą równie dobrze posłużyć do wykonania łącza dostępowego na odległość kilkunastu kilometrów w górach lub na terenach podmiejskich - od miejsca, gdzie jeszcze mamy dostęp do sieci kablowej. Specjalizowane radiomodemy mogą uzyskiwać duże zasięgi lub szerokie pasmo - jeżeli jest potrzebne.

Nie można jednoznacznie powiedzieć, kiedy radiodostęp jest lepszy od kablowego - uwarunkowania są bardzo złożone. Często decydująca może być technologia łączności - DSSS (Direct Sequence Spread Spectrum) lub FHSS (Frequency Hopping Spread Spectrum), zajętość pasm częstotliwości w danym obszarze kraju, czy obecność przeszkód terenowych. Jedynie pomiary zestawionego łącza mogą dać odpowiedź na temat jego niezawodności - interakcje sygnału radiowego z elementami krajobrazu mogą być doprawdy niezwykle.

Niebezpieczeństwo takich zakłóceń maleje wraz ze wzrostem częstotliwości i poprawianiem charakterystyk kierunkowych anten. Typowe radiolinie mikrofalowe z antenami parabolicznymi są już stosunkowo odporne na zakłócenia, są jednak odpowiednio droższe. Wariantem pośrednim stosowanym w przypadku gdy zamierzamy pokryć większy obszar jest LMDS (Local Multipoint Distribution System) który wykorzystuje się w terenach zurbanizowanych. Specjalna antena sektorowa nadaje i odbiera sygnał z kilku stacji abonenckich rozmieszczonych w zasięgu widoczności. Każda bazowa stacja abonencka jest wyposażona w kierunkową antenę paraboliczną i może obsłużyć pasmo do 11 Mb/s. Z tego względu jest to bardzo efektywny system dostępowy, gdyż dostawca usługi może z jednej stacji bazowej obsłużyć wielu klientów na stałym łączu. Jeżeli połączenia serwerów dostawcy Internetu ze światem są dobre, to rozwiązanie tego typu może być bardzo sensowne - duża szybkość i brak zatorów. Nie ma jednak róży bez kolców - przy wyborze należy się upewnić, czy infrastruktura połączeń jest dla nas korzystna. Może się bowiem okazać, że z USA czy Niemcami łączymy się łatwo, ale za to mamy kłopoty ze ściągnięciem rozkładu jazdy PKP.

Analogicznie, serwer takiego dostawcy jest bardzo dobrym miejscem do umieszczenia stron propagujących walory turystyczne regionu lub zawierających informacje dla inwestorów zagranicznych.

Dla systemów WLAN także dostępne są anteny sektorowe i można za ich pomocą obsłużyć klientów wymagających mniejszych przepływności na mniejszym obszarze, a rozwiązanie takie jest znacznie tańsze od opisanego wyżej LMDS. Łącza WLAN na małych zasięgach mogą pracować bez widoczności wzajemnej między stacjami, ale wówczas zasięgi są niewielkie i nie przekraczają kilkudziesięciu metrów.

4.1 Bezprzewodowe karty sieciowe

Radiowa karta sieciowa - Do wyboru mamy trzy rodzaje interfejsów: ISA, PCI i PCMCIA oraz USB. Każdy z nich ma swoje wady i zalety. Modele ze złączem ISA zazwyczaj pozwalają na własnoręczną konfigurację parametrów działania adaptera oraz świetnie nadają się do starszych komputerów, w których każdy slot PCI jest na wagę złota. Jeśli chodzi o karty PCI to są one zgodne ze standardem Plug&Play co jest ważne dla początkujących użytkowników sprzętu. Ponadto należy mieć na względzie iż większość nowych płyt głównych prócz AGP posiada tylko i wyłącznie złącza PCI, więc jeśli ktoś zamierza rozwijać swoją konfigurację, rozsądniejszą alternatywą jest właśnie ten standard. USB do którego przyłącza się odpowiedni terminal jest bardzo wygodnym i prostym rozwiązaniem. Umożliwia nam w bardzo prosty sposób przyłączenie się do sieci bezprzewodowej.

4.2 Punkty Dostępu

Access Point - Punkt dostępowy pozwala na podłączanie wielu klientów bezprzewodowych oraz łączenie sieci Ethernet bez żadnych dodatkowych urządzeń (po zastosowaniu anten zewnętrznych na duże odległości), mogą pracować także w funkcji BRIDGE i przedłużać zasięg radiolinii. Punkty dostępu posiadają szereg dodatkowych funkcji. Bardzo ważną cechą jest możliwość konfiguracji poprzez dedykowane oprogramowanie SNMP oraz WWW przy czym warto dodać, że oprogramowanie do zarządzania przez SNMP w przypadku problemów z łącznością sprawdza się o wiele lepiej. Punkty dostępu umożliwiają autoryzację użytkowników poprzez listę MAC która modyfikuje administrator. Pozwala to na pracę jedynie autoryzowanym użytkownikom czyli tym których adres MAC znajduje się na access liście punktu dostępu. Najczęściej pozwalają na przyłączenie do 50 klientów. Gdy chcemy zwiększyć liczbę użytkowników musimy zastosować drugi punkt dostępu.

4.3 Anteny

W transmisji radiowej sygnał z nadajnika jest przesyłany kablem antenowym do anteny, gdzie następuje jego wypromieniowanie w przestrzeń. W zależności od typu anteny sygnał może być nadawany z taką samą mocą we wszystkich kierunkach lub też może zostać skupiony w węższej wiązce wypromieniowanej w wybranym kierunku. Emisję sygnału z anteny najlepiej opisuje tzw. charakterystyka anteny przedstawiana zwykle w postaci trójwymiarowej bryły która zawiera wypromieniowaną wiązkę. Odległość od środka geometrycznego anteny do danego punktu na powierzchni bryły symbolizuje natężenie wypromieniowanego sygnału. Często określa się charakterystykę anteny podając szerokość kątową czyli tzw. dyspersję wypromieniowanej wiązki dla płaszczyzny poziomej i pionowej. Na przykład antena o charakterystyce dookólnej (promieniująca sygnał z taką samą mocą dookoła) ma kąt promieniowania wiązki 360 stopni. (dla płaszczyzny poziomej). Mówiąc o kierunkowości anteny często określa się szerokość wypromieniowanej wiązki. Anteny promieniujące wiązkę o mocno rozproszoną określane są jako szerokokątne, podczas gdy anteny promieniujące wiązkę skupioną określane są jako kierunkowe, gdyż promieniują sygnał w jednym wybranym kierunku. Charakterystyka anteny ma duży wpływ na zysk energetyczny anteny. Zysk ten, mierzony w decybelach [dB] określa ile razy silniej antena promieniuje sygnał wzdłuż osi zwanej kierunkiem promieniowania w stosunku do promieniowania anteny teoretycznej, która jest pojedynczym punktem promieniującym sygnał z taką samą mocą we wszystkich kierunkach. Antena teoretyczna nie jest możliwa do zrealizowania w praktyce, ale jest niezbędna do przeprowadzenia obliczeń anten rzeczywistych. Mimo skomplikowanej definicji zysk energetyczny anteny jest bardzo wygodnym pojęciem przy obliczaniu bilansu mocy. Im większy zysk energetyczny danej anteny tym węższą wiązkę ona promieniuje, ale jednocześnie bardziej "wzmacnia" sygnał w kierunku swojej osi. Na przykład antena o dużym zysku energetycznym wynoszącym 24dB promieniuje wiązkę o szerokości tylko 7 stopni, podczas gdy antena o zysku 8.5 dB promieniuje wiązkę o szerokości 75 stopni.

Anteny szerokokątne (o szerokości wiązki większej niż 60 stopni) i dookólne (szerokość wiązki 360 stopni) najlepiej nadają się do stacji bazowych w sieciach typu "punkt-wielopunkt", które muszą swoim zasięgiem "pokryć" wybrany obszar np. halę magazynową, port, lotnisko itp. Anteny kierunkowe są używane przede wszystkim do pojedynczych łącz radiowych o większym zasięgu tzw. radiolinii. Na terenach, na których występuje duża liczba obiektów, od których sygnał radiowy może się odbić jak np. budynki, metalowe ogrodzenia, nisko przelatujące samoloty, zalecane jest stosowanie dwóch anten nadawczo - odbiorczych, gdyż w ten sposób można wyeliminować szkodliwy wpływ odbić tzw. fadingu. Przy odbiorze każdego pakietu urządzenie automatycznie wybiera jedną z anten, która w danym momencie odebrała lepszy sygnał. Jest to oczywiście rozwiązanie droższe ale pozwala rozwiązać problem szkodliwych odbić.

4.4 Konfiguracje sieci bezprzewodowych [8]

Pierwszą sprawą jaką należy ustalić jest wybór topologii (IBSS, BSS czy ESS) oraz maksymalnej przepustowości sieci . Wybór ten implikuje rodzaj urządzeń oraz anten niezbędnych do jej budowy oraz ich rozmieszczenie. Przy projektowaniu sieci radiowych nie wolno zapominać o kilku niezwykle istotnych sprawach bez których sieć nie będzie prawidłowo.

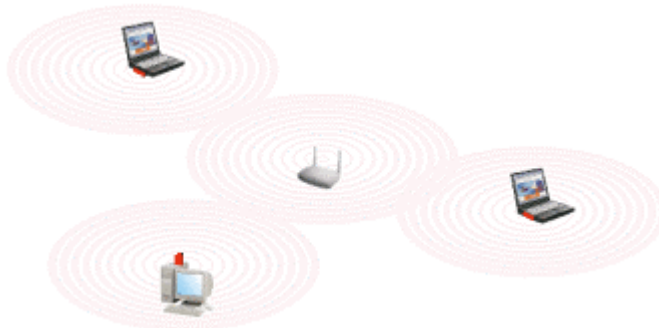
- Na linii między nadawcą a odbiorcą nie może być żadnych większych przeszkód co zapewni prawidłową transmisję.
- Koncentratory AP należy instalować wysoko na ścianie lub pod sufitem co zwiększy ich zasięg w przypadku instalacji wewnątrz budynku.
- W strukturze ESS "okręgi" wyznaczone przez zasięg AP powinny częściowo na siebie zachodzić zezwalając na prawidłowe przełączanie klientów pomiędzy podsieciami oraz nieprzerwaną komunikację.
- Należy pamiętać iż aby sieć tworzyła spójną całość wszystkie urządzenia w sieci powinny należeć do tej samej domeny (Wireless domain ID).

Sieci bezprzewodowe mogą być proste lub złożone. W najprostszej wersji, co najmniej dwa komputery wyposażone w karty radiowe tworzą niezależną sieć kiedy tylko znajdują się w swoim zasięgu. To nazywamy siecią peer-to-peer. Sieci takie jak w tym przykładzie nie wymagają administracji czy prekonfiguracji. W takim przypadku każdy użytkownik mógłby mieć dostęp do zasobów drugiego użytkownika (Rys. 1).



Rys. 1: Bezprzewodowa sieć peer-to-peer

Zainstalowanie punktu dostępowego może zwiększyć zasięg sieci ad hoc, efektywnie podwajając zasięg w jakim urządzenia mogą się komunikować (Rys. 2).



Rys. 2: Bezprzewodowa sieć z punktem dostępowym

Punkt dostępowy może być podłączony do sieci kablowej - wtedy każdy użytkownik bezprzewodowy dostęp zarówno do serwera jak i do innych użytkowników. Każdy punkt dostępowy może obsłużyć wielu użytkowników; dokładna liczba zależy od ilości i rodzaju transmitowanych danych. Wiele pracujących aplikacji działa w konfiguracjach, gdzie jeden punkt dostępowy obsługuje od 15 do 50 użytkowników (Rys. 3).



Rys. 3: Bezprzewodowa sieć z punktem dostępowym włączonym do szkieletu sieci

Punkty dostępowe mają ograniczony zasięg, 300 metrów w pomieszczeniach i 10000 metrów na otwartej przestrzeni. W rozległych infrastrukturach, takich jak magazyny, hurtownie, czy osiedla mieszkaniowe, prawdopodobnie będzie potrzeba zainstalowania więcej niż jednego punktu dostępowego. Lokalizację punktów dostępowych określa się robiąc właściwe pomiary. Celem jest pokrycie obszaru z zachowaniem nakładania się zasięgu poszczególnych komórek tak by użytkownik mógł poruszać się po danym obszarze bez utraty dostępu do sieci. Taką możliwość poruszania się w zasięgu zespołu punktów dostępowych nazywamy roamingiem. Punkty dostępowe, jeden po drugim, przekazują sobie użytkownika w sposób niezauważalny dla niego, zapewniając stałą łączność (Rys. 4).



Rys. 4: Kilka punktów dostępowych i roaming

Typowym zastosowaniem sieci bezprzewodowej jest połączenie dwóch punktów dostępowych łączem radiowym. Możemy w ten sposób połączyć np. centralę firmy z magazynem, czy salonem handlowym. Niezbędnym warunkiem dla zestawienia takiego połączenia jest widzialność optyczna kierunkowych anten nadawczo-odbiorczych najczęściej kierunkowych np. parabol (Rys. 5).



Rys. 5: Połączenie dwóch lokalizacji

Kolejny przykład przedstawia rozwiązanie dla dostawców np. Internetu. Możemy w ten sposób doprowadzić łącza Internetowe do użytkowników indywidualnych np. na osiedlu domków jednorodzinnych. Na punkcie dostępowym stosujemy antenę (lub anteny) dookólne a abonenci korzystają z anten kierunkowych. Niezbędnym warunkiem dla zestawienia takich połączenia jest widzialność optyczna kierunkowych anten nadawczo-odbiorczych abonentów i anteny na punkcie dostępowym (Rys. 6).



Rys. 6: Bezprzewodowe udostępnianie internetu

Przy zakupie anteny trzeba bardzo uważać ponieważ anteny oferowane przez różnych producentów mają nagminnie zawyżane parametry - w szczególności często podawane jest wzmocnienie niemożliwe do osiągnięcia przy opisywanej szerokości wiązki, ewentualnie podawane są parametry idealne, wynikające z symulacji a nie mierzone w laboratorium. Należy więc anteny przed zakupem dokładnie sprawdzić gdyż wcale nie są rzadkie przypadki gdy antena jednego producenta opisywana np. jako 19 dBi ma o 33% większy zasięg niż antena drugiego producenta opisywana jako 22 dBi mimo że teoretycznie ta druga powinna mieć zasięg o 40% większy. Do tego w wielu przypadkach anteny danego producenta mogą być bardzo nierówne - jeden egzemplarz może być bardzo dobry a drugi bardzo zły. Przy montażu anten na zewnątrz warto się upewnić że anteny są odpowiednio zabezpieczone przed zamoczeniem lub silnym wiatrem. W przypadku anten kierunkowych o wąskiej wiązce należy zadbać by nie ruszały się na wietrze bo może to powodować całkowitą stratę sygnału.

Literatura

- [1] Vademecum teleinformatyka I, Wydawnictwo IDG 1999r.
- [2] Vademecum teleinformatyka II, Wydawnictwo IDG 2002r.
- [3] <http://www.networld.pl/>
- [4] <http://www.nss.pl/>
- [5] <http://www.pl.tomshardware.com>
- [6] <http://www.pckurier.pl>
- [7] <http://wireless.visomatic.com.pl>
- [8] <http://www.wlan.p-net.pl/>
- [9] <http://sakul.terramail.pl>