



AKADEMIA GÓRNICZO-HUTNICZA
IM. STANISŁAWA STASZICA W KRAKOWIE

Sieci komputerowe

Sieci bezprzewodowe

dr inż. Andrzej Opaliński

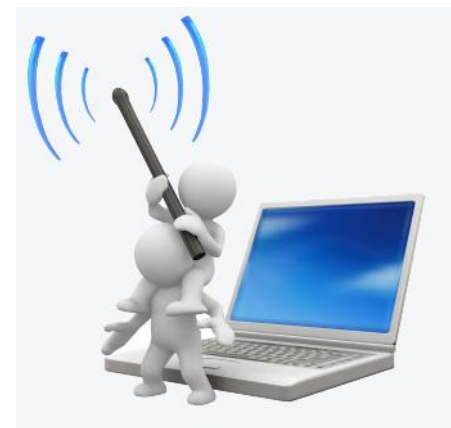
Plan wykładu

- **Wprowadzenie**
- **Transmisja sygnału, fale elektromagnetyczne**
- **Topologie sieci bezprzewodowych**
- **Typy transmisji, modulacja sygnału**
- **Standardy sieci bezprzewodowych**
 - **WiFi – 802.11**
 - Standardy
 - Bezpieczeństwo
 - Architektury
 - CSMA/CA
 - **WiMAX – 802.16**
 - **BlueTooth – 802.15.1**
 - **UltraWideBand – 802.15.3**
 - **ZigBee – 802.15.4**
 - **Sieci komórkowe**



Sieci bezprzewodowe - wprowadzenie

- **Alternatywa dla sieci kablowych**
 - Brak fizycznej możliwości zastosowania okablowania
 - Względy ekonomiczne
- **Zalety**
 - Łatwy dostęp do kanału transmisji i zasobów sieci
 - Pokrycie stosunkowo dużego obszaru
 - Możliwość komunikacji użytkowników mobilnych
 - Łatwość rozbudowy, skalowalność
 - Różnorodność konfiguracji i topologii
 - Niski koszt tworzenia sieci
- **Wady**
 - Stosunkowo duże rozpraszanie energii
 - Wysoki poziom zakłóceń zewnętrznych
 - Niższe przepustowości (w porównaniu z sieciami przewodowymi)
 - Ograniczenia dotyczące częstotliwości
 - Zagrożenia bezpieczeństwa (podśluchy, zagłuszanie)

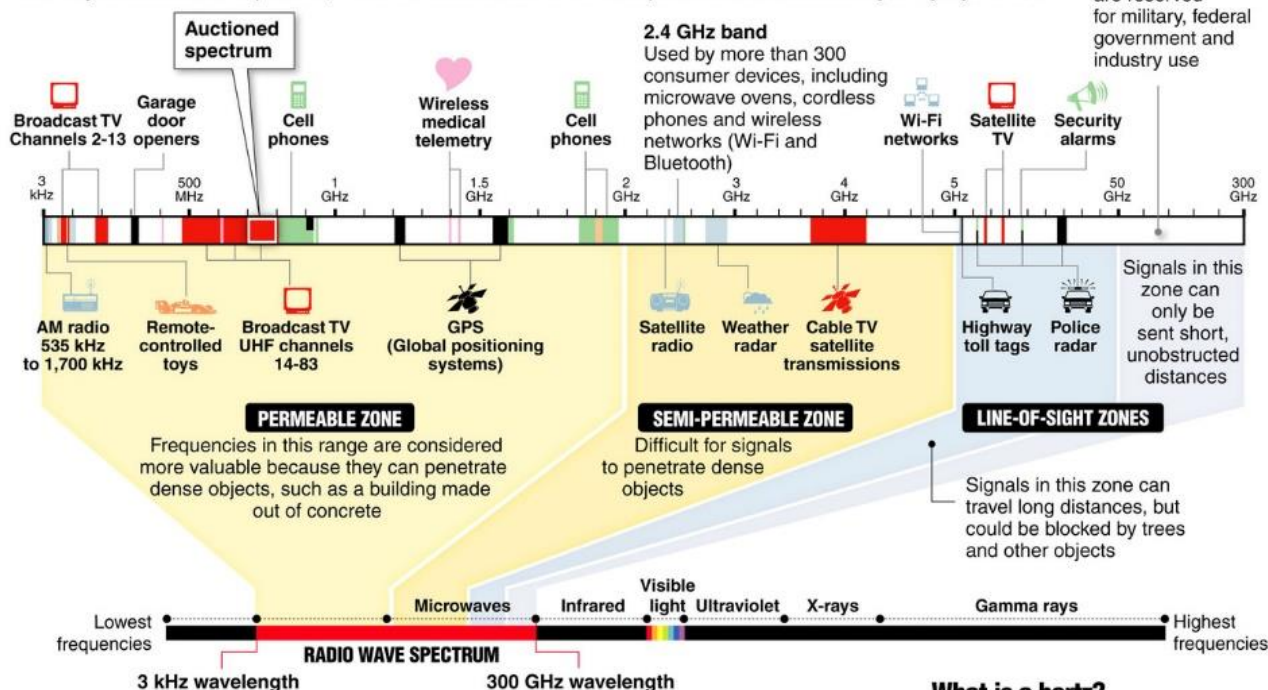


Spektrum fal elektromagnetycznych (radiowych)

Inside the radio wave spectrum

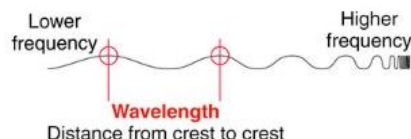
Almost every wireless technology – from cell phones to garage door openers – uses radio waves to communicate. Some services, such as TV and radio broadcasts, have exclusive use of their frequency within a geographic area. But many devices share frequencies, which can cause interference. Examples of radio waves used by everyday devices:

Most of the white areas on this chart are reserved for military, federal government and industry use



The electromagnetic spectrum

Radio waves occupy part of the electromagnetic spectrum, a range of electric and magnetic waves of different lengths that travel at the speed of light; other parts of the spectrum include visible light and x-rays; the shortest wavelengths have the highest frequency, measured in hertz



What is a hertz?

One hertz is one cycle per second. For radio waves, a cycle is the distance from wave crest to crest

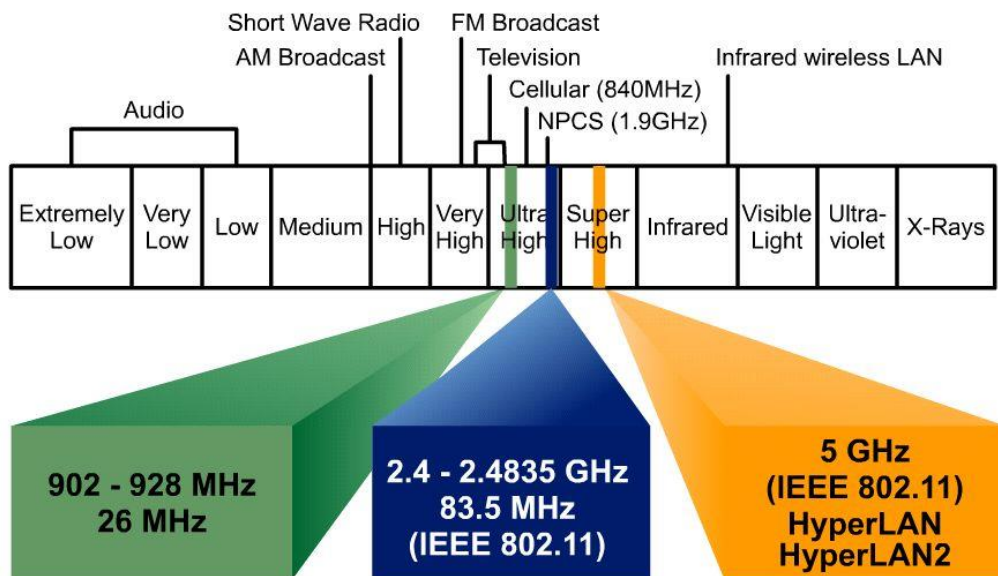
1 kilohertz (kHz) = 1,000 hertz

1 megahertz (MHz) = 1 million hertz

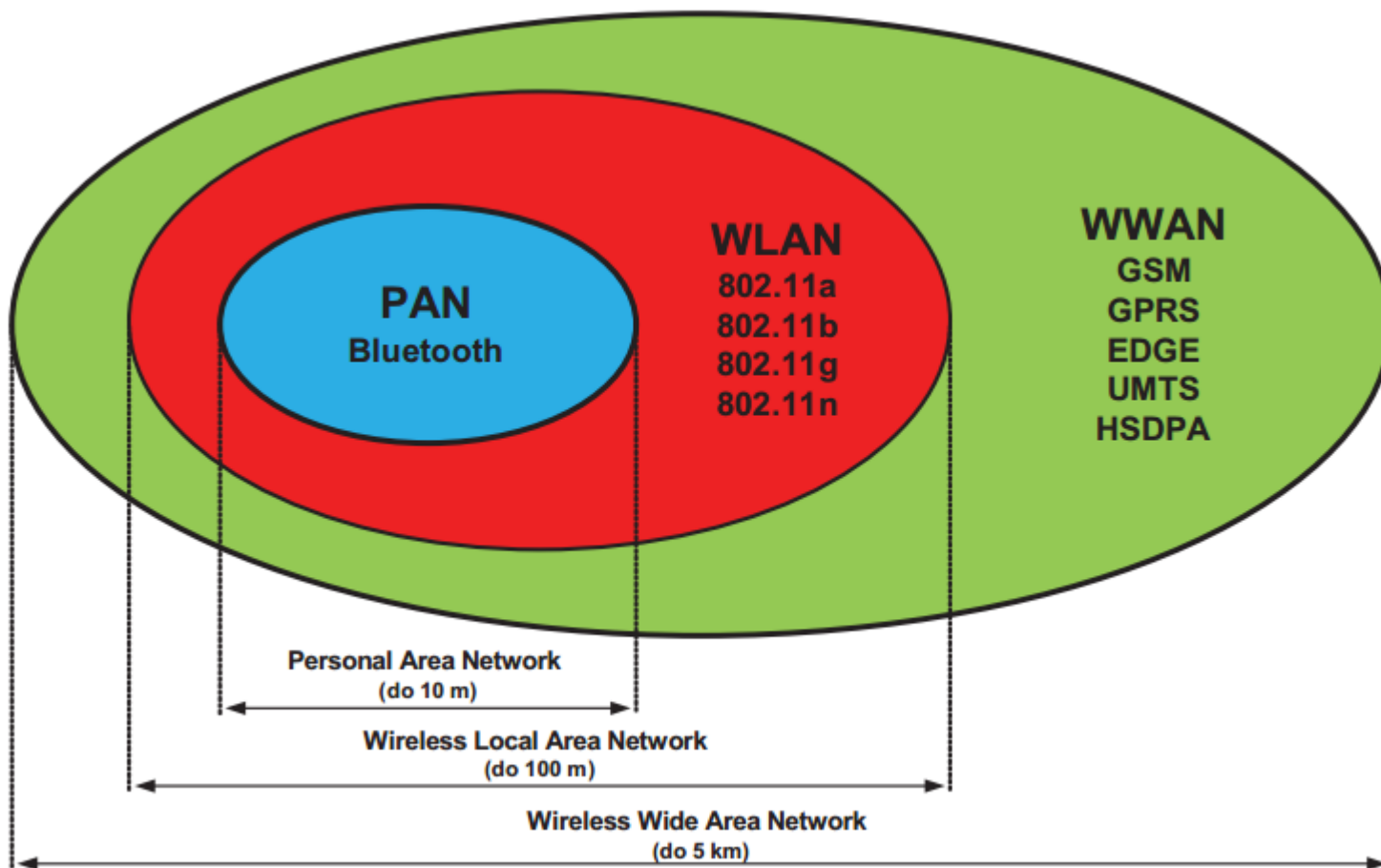
1 gigahertz (GHz) = 1 billion hertz

Pasma łączności radiowej

- Zasada działania – propagacja fal elektromagnetycznych
- Trzy światowe, ogólnodostępne pasma komercyjne
- ISM (industrial, scientific, medical)
 - UHF ISM – 902 - 928 MHz
 - S-Band ISN – 2,4 – 2,5 GHz
 - C-Band ISM – 5,725 - 5,875 GHz



Zasięg bezprzewodowych



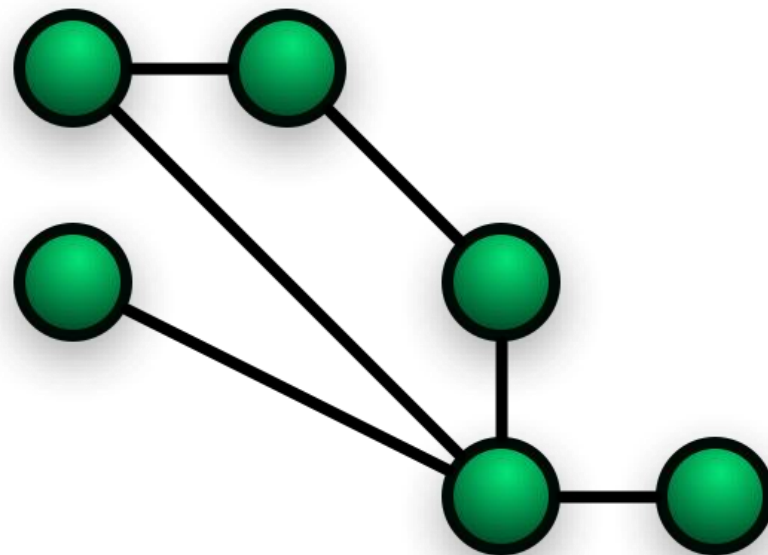
- **Fale radiowe i mikrofale**

- Nadajniki konwertują sygnał na fale radiowe
- Zmiana prądu elektrycznego w antenie nadajnika powoduje wygenerowanie fali radiowej
- Fale radiowe są tłumione w miarę oddalania się od anteny
- Siła sygnału maleje wraz z kwadratem odległości (10 metrów od anteny sygnał ma 1/100 mocy)
- Pochłanianie i zakłócanie fal przy przechodzeniu przez ośrodki
- Załamanie fal (różne ośrodki)
- Rozpraszanie pochłanianie fal (np. deszcz)



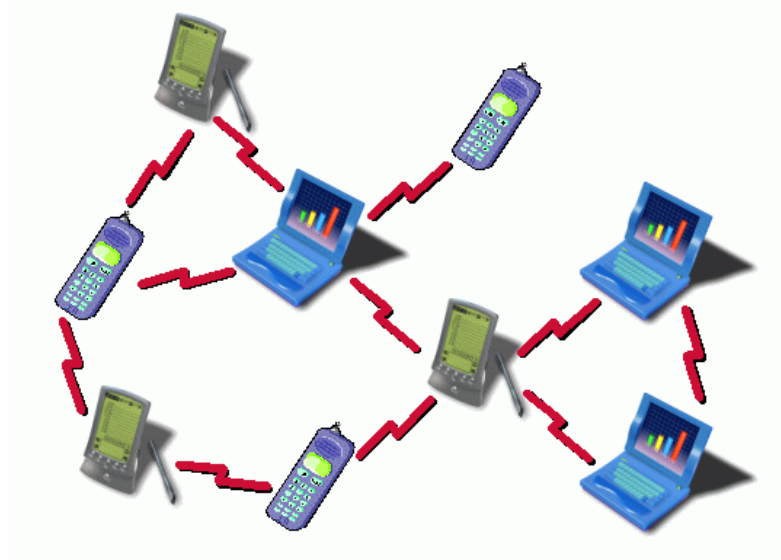
Topologie sieci bezprzewodowych

- Sieci AD-Hoc
- Sieci infrastrukturalne
- Sieci kratowe
- Sieci sensorowe



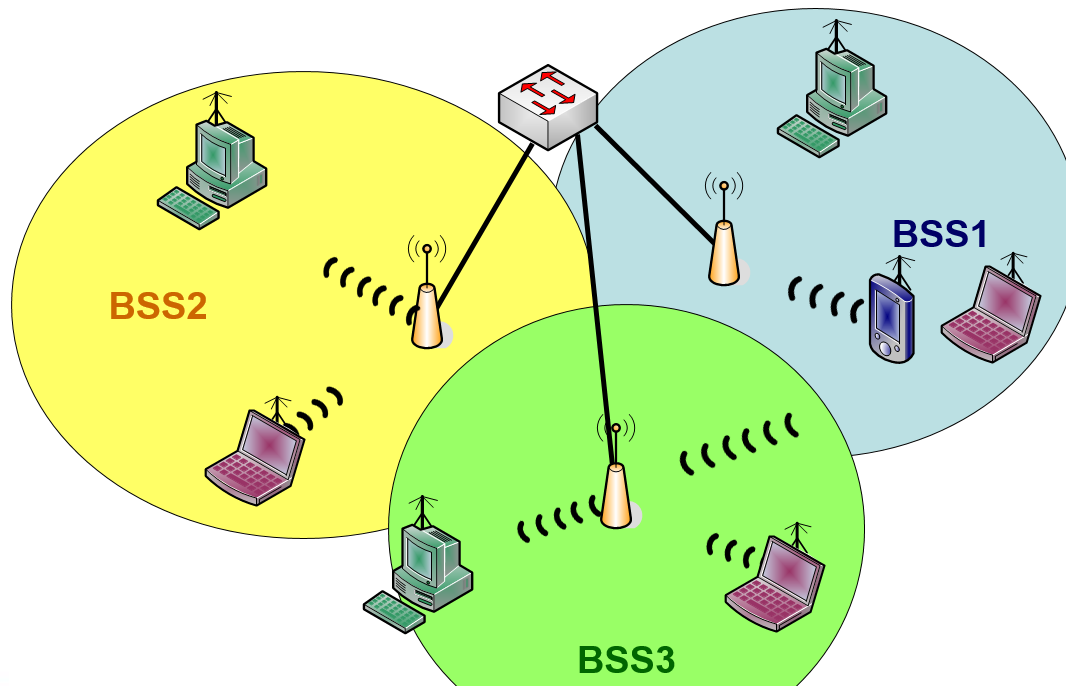
Sieci Ad-Hoc

- Sieć o zdecentralizowanej strukturze
- Urządzenia mogą pełnić rolę klienta oraz punktu dostępu
- Obejmują urządzenia w zasięgu sygnału
- Tymczasowa, niestabilna struktura organizacyjna



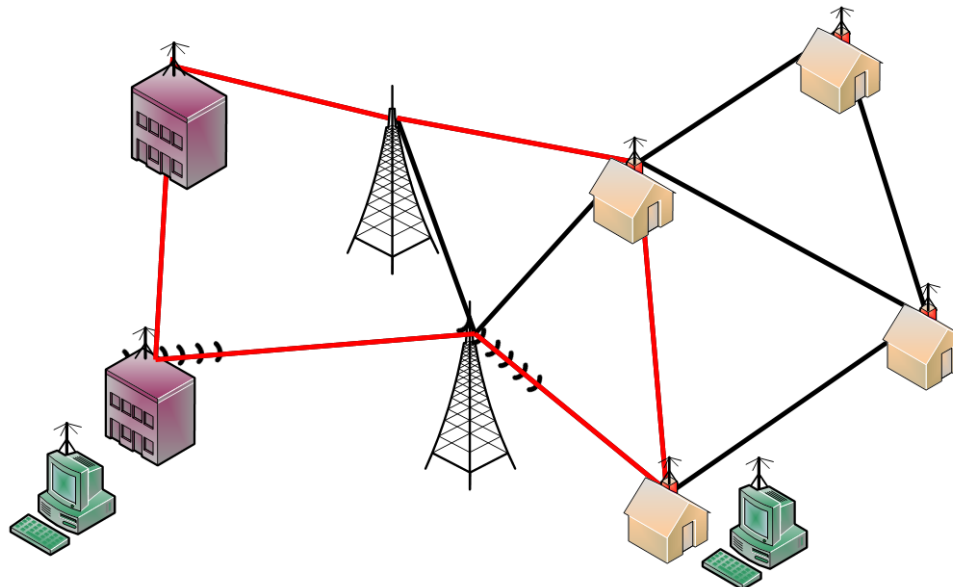
Sieci infrastrukturalne

- Sieci wielokomórkowe, podzielone na strefy BBS (Basic Service Set)
- W ramach jednej strefy BBS komunikacja za pomocą punktów dostępu AP (AccessPoint)
- Punkty dostępu połączone przewodowo
- Możliwość przemieszczania klientów między BBSami



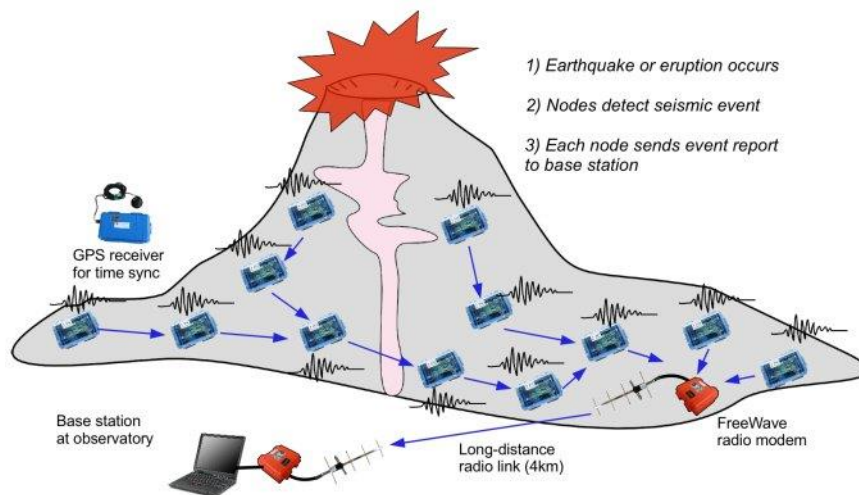
Sieci kratowe

- **Węzły tworzą siatkę (mesh) łącząc się za pomocą połączeń radiowych**
- **Niektóre węzły podłączone do sieci przewodowej**
- **Wysoka niezawodność**
 - Odporność na awarie
 - Możliwość zestawienia innej trasy w oparciu o inne węzły
- **Konieczność elastycznego zarządzania częstotliwościami**



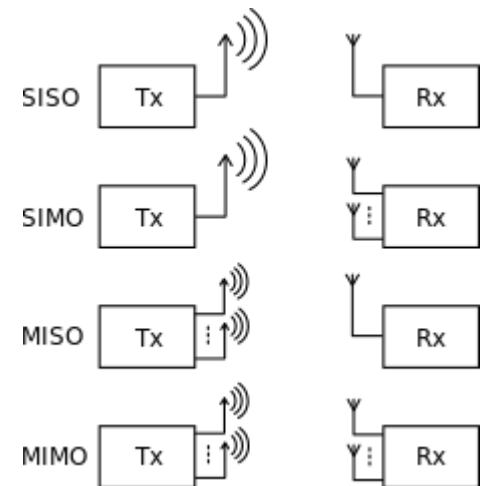
Sieci sensorowe

- **WSN (wireless sensor network)**
- **Zestaw sensorów umieszczonych na pewnym obszarze**
- **Sensory realizują zadanie (np. monitoring)**
 - Ruchu obiektów
 - Zanieczyszczenia
 - Pogody
- **Problem zasilania/komunikacji**



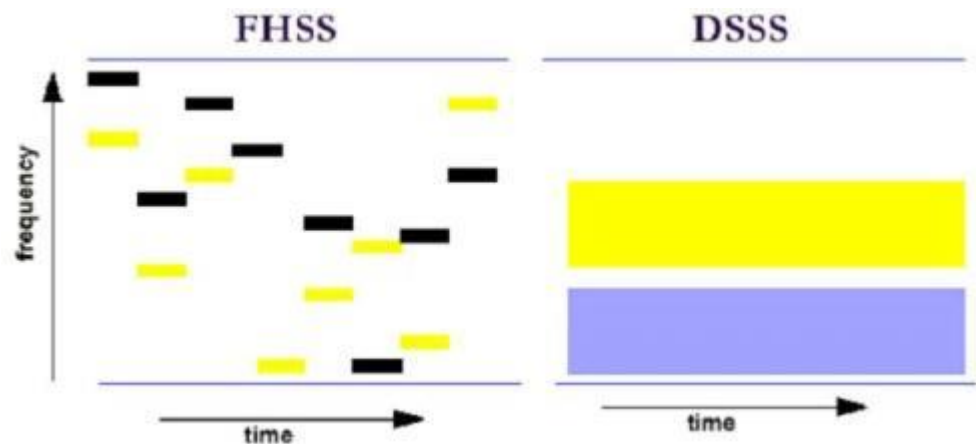
Typy transmisji

- **SISO (Single Input Single Output)**
 - **SIMO (Single Input Multiple Output)**
 - **MISO (Multiple Input Single Output)**
 - **MIMO (Multiple Input Multiple Output)**
-
- **Różne liczby anten nadawczych i odbiorczych**
 - **Korzyści ze stosowania wielu anten**
 - Zysk dywersyfikacji – wzrost niezawodności łącza dla nieskorelowanych anten nadawczych
 - Zysk obioru zbiorczego – wzrost SNR (signal to noise ratio)
 - Zysk multipleksacji – podział strumienia i przesył za pomocą wielu anten



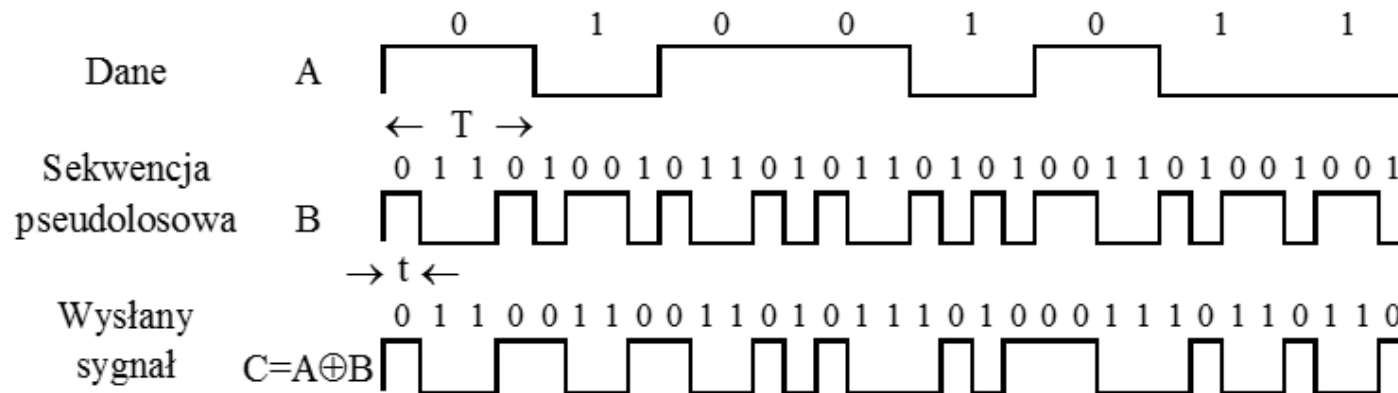
Modulacje sygnału

- **Modulacja DSSS – Direct Sequence Spread Spectrum (Szereg bezpośredni w widmie rozproszonym)**
 - GPS
 - Telefony bezprzewodowe w paśmie 2,4GHz
 - IEEE 802.11, IEEE 802.11b
 - IEEE 802.15.4 ZigBee
- **Modulacja FHSS – Frequency Hopping Spread Spectrum (Zmienne częstotliwości w widmie rozproszonym)**
 - Bluetooth
 - Systemy wojskowe
 - IEEE 802.11



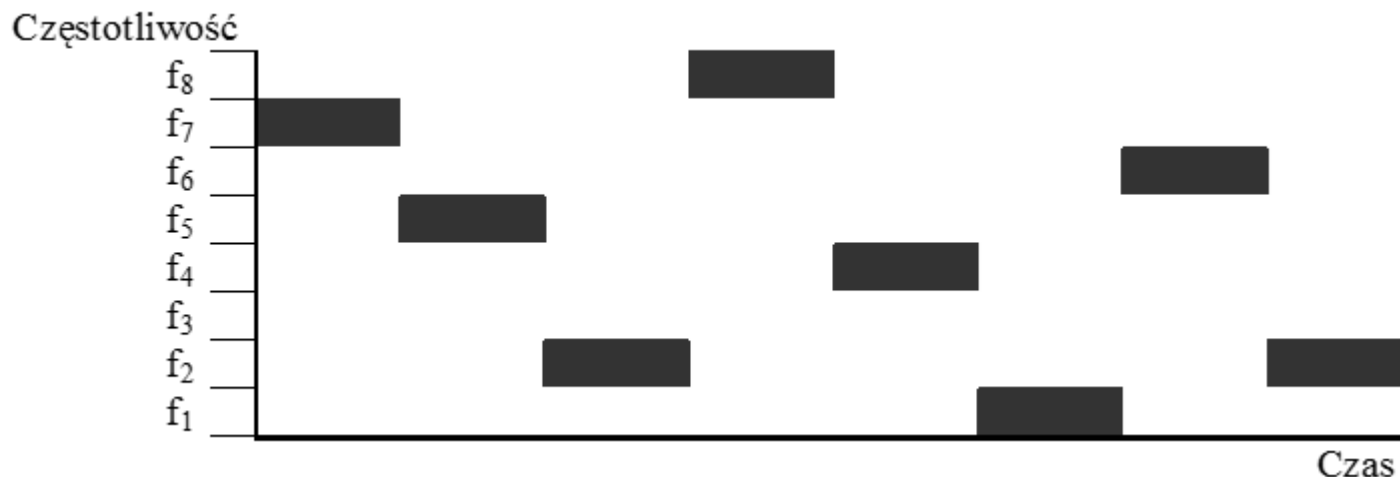
Modulacja DSSS

- Szereg bezpośredni w widmie rozproszonym
- Kluczowanie sygnału danych sekwencją pseudolosową
- Sekwencja generowana przez nadajnik
- Odbiornik odbiera i demoduluje sygnał przy użyciu tej samej sekwencji
- Cechy
 - Sygnał wygląda jak szum
 - Odporna na zakłócenia
 - Umożliwia współdzielenie pasma przez wielu użytkowników
 - Wymaga szerokiego pasma transmisji
 - Wymaga synchronizacji odbiornika i nadajnika



Modulacja FHSS

- **Pasmo dzielone na określoną liczbę kanałów**
- **Nadajnik zmienia kanał zgodnie z sekwencją pseudolosową**
- **Cechy**
 - Umożliwia pokrycie wielu punktów dostępu
 - Odporna na zakłócenia
 - Wymaga retransmisji pakietów po interferencjach w ramach pasma
 - Wymaga synchronizacji odbiornika i nadajnika



WiFi – standard IEEE 802.11

- **Wi-Fi (Wireless Fidelity) – bezprzewodowa wierność**
- **Znak towarowy stowarzyszenia Wi-Fi Alliance**
- **Umożliwia budowę sieci Ad-Hoc, LAN**
- **Pierwsza wersja standardu IEEE 802.11 – 1997 rok**
- **Działa w pasmach:**
 - 2,4 GHz (2400 do 2485MHz)
 - 5 GHz (4915 do 5825 MHz)
- **Zakres częstotliwości nie podlega koncesjonowaniu**
- **Ograniczenia mocy promieniowania**
 - 2,4 GHz – 100mW
 - 5 GHz – 1W

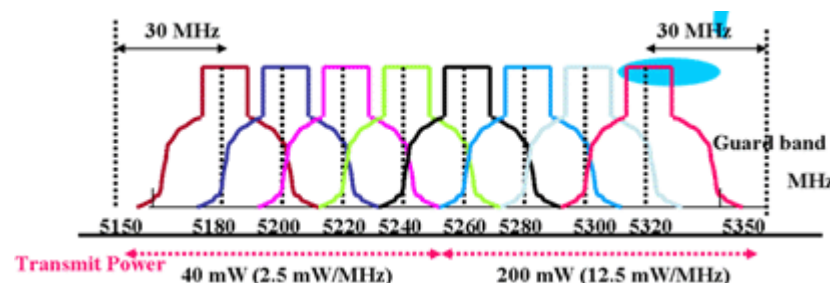


Standardy IEEE 802.11

Standard	Przepustowość teoretyczna (max)	Częstotliwość	Data wprowadzenia	Uwagi
802.11a	54 Mb/s	5 GHz	1999	
802.11b	11 Mb/s	2,4 GHz	1999	30-50m w pomieszczeniach ok.100m na otwartej przestrzeni
802.11g	54 Mb/s	2,4 GHz	2003	
802.11n	600 Mb/s	2,5 i 5 GHz	2009	
802.11ac	1 Gb/s	5 GHz	2013	1Gb/s – wiele stacji 500Mb/s – jedna stacja
802.11i			2004	WPA2 – rozszerzenie bezpieczeństwa z użyciem szyfrowania i uwierzytelniania

802.11a

- **Standard opisujący:**
 - Warstwę fizyczną
 - Podwarstwę MAC
- **Opublikowany w 1999 roku, urządzenia od 2001**
- **Częstotliwość 5 GHz**
 - 5,15-5,35 GHz
 - 5,725-5,825 GHz
- **Wyższa częstotliwość, mniejszy zasięg**
- **Przepustowości:**
 - Maksymalna – 54 Mb/s
 - Efektywna rzeczywista – 20 Mb/s
- **12 niepokrywających się kanałów o szerokości 20 MHz**
 - 8 do pracy w budynkach
 - 4 do pracy PointToPoint
- **Nigdy nie doczekał się masowego wykorzystania**
(problemy z zasięgiem, zwiększony pobór mocy)



802.11b

- **Pasmo ISM (Industry Science and Medicine)**
- **Pasmo 2,4 GHz – możliwość interferencji z innymi urządzeniami**
- **Maksymalnie 11 Mb/s – maleje ze wzrostem odległości**
- **Modulacje: FHSS, DSSS**
- **Stosunkowo mały pobór mocy – metoda CCK (Complimentary Code Keying)**
- **Przykładowe przepustowości i zasięg sieci**

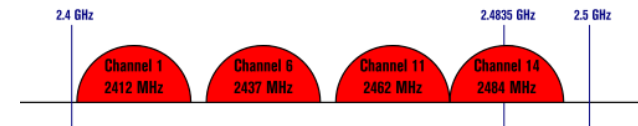
Środowisko (pasmo 2,4GHz)	Przepustowość			
	11Mb/s	5,5Mb/s	2Mb/s	1Mb/s
Otwarta przestrzeń	160m	270m	400m	550m
Półotwarta przestrzeń	50m	70m	90m	115m
Przestrzeń zamknięta	25m	35m	40m	50m

802.11b – podział na kanały

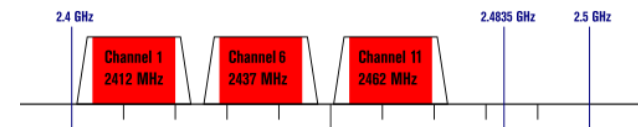
- **Odstęp między kanałami – 5 MHz**
 - 14 kanał – Japonia
 - 1-11 USA
- **Pokrywanie się kanałów**

Non-Overlapping Channels for 2.4 GHz WLAN

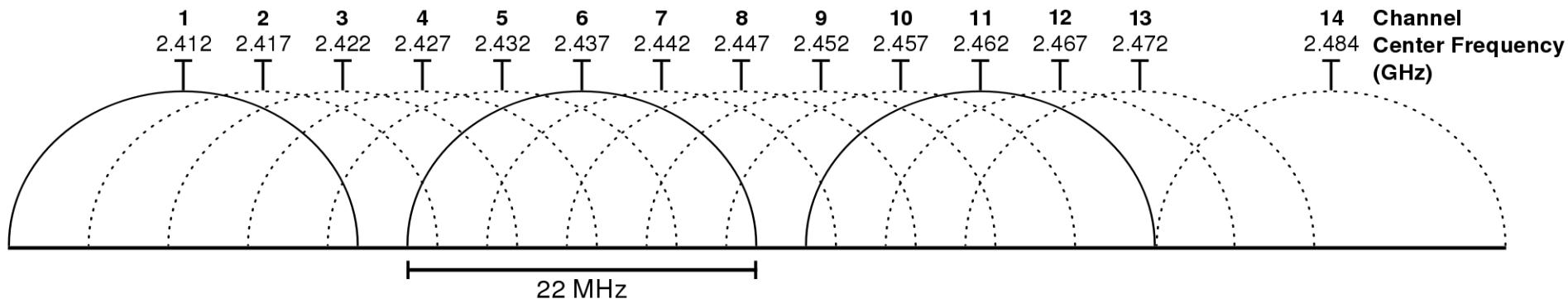
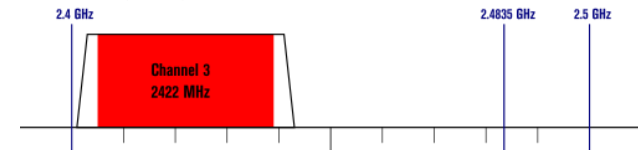
802.11b (DSSS) channel width 22 MHz



802.11g/n (OFDM) 20 MHz ch. width - 16.25 MHz used by sub-carriers



802.11n (OFDM) 40 MHz ch. width - 33.75 MHz used by sub-carriers



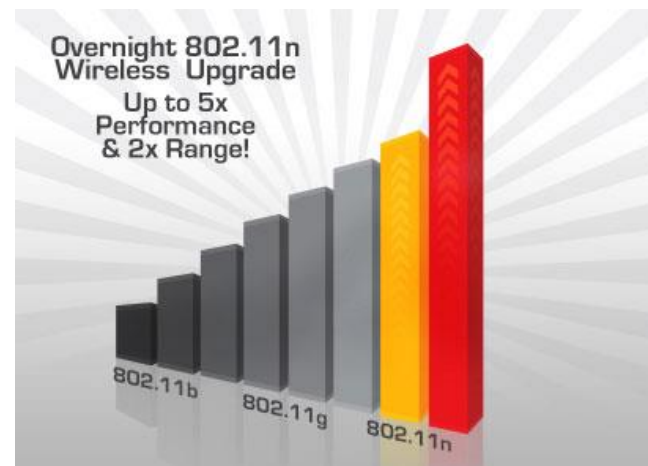
802.11g

- **Wprowadzony w 2003 roku**
- **Częstotliwość 2,4 GHz**
- **Zgodny wstecznie ze standardem 802.11b**
- **Przepustowość maksymalna – 54 Mb/s**
- **Stosunkowo duży pobór mocy – modulacja OFDM (Orthogonal Frequency Division Multiplexing)**
- **Zasięg podobny do IEEE 802.11b**
- **Opcja SuperG**
 - Łączenie pasma kilku kanałów w jedno
 - Do 108 Mb/s
 - Poprawa sprawności protokołu



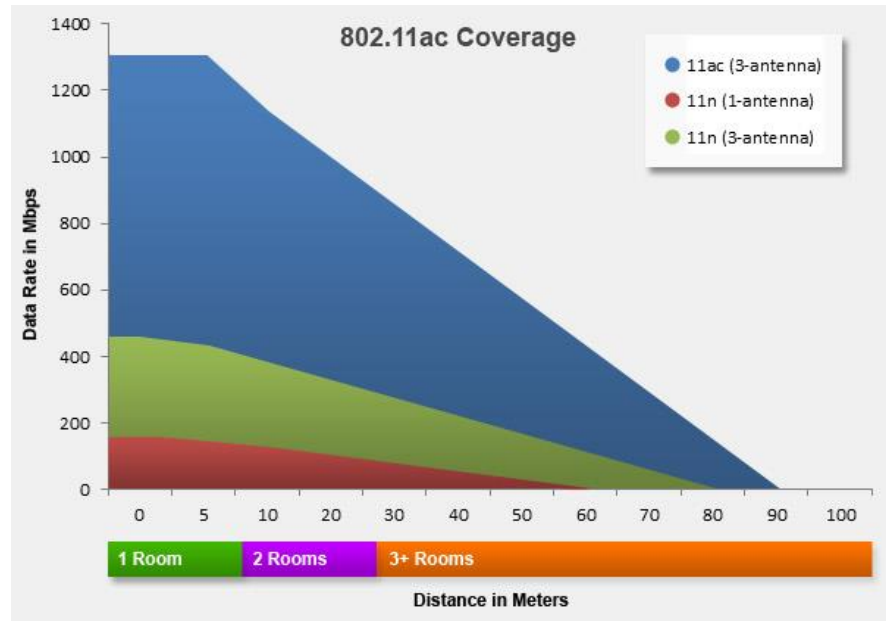
802.11n

- **Pasmo 2,4 GHz i 5 GHz**
- **Wprowadzony w 2009 roku**
- **Kilkadziesiąt nowych technologii zapewniających:**
 - Wzrost przepustowości
 - Lepsze pokrycie zasięgiem
 - Poprawę jakości transmisji
 - Poprawę bezpieczeństwa
- **Oparty na technologii MIMO oraz Smart Antenna**
- **Cechy**
 - Wykorzystanie technik modulacji BPSK, QPSK, OFDM
 - kanał transmisji poszerzony do 40 MHz
 - 150Mb/s dla pojedynczego strumienia
 - Możliwość równoległej i równoczesnej transmisji 4 strumieni – 600 Mb/s



802.11ac

- **Opublikowany w styczniu 2011**
- **Wykorzystanie pasma 5 GHz**
- **Zwiększenie przepustowości**
 - dla wielu stacji – do 1 Gb/s
 - dla jednej stacji – do 500 Mb/s
- **Zatwierdzenie standardu w 2014 roku**



Bezpieczeństwo w sieciach Wi-Fi

- **Identyfikator sieci (SSID) ang. Service Set Identifier**
 - Alfanumeryczny ciąg przypisany sieci bezprzewodowej
 - Standardowo rozgłaszamy (blokowanie rozgłaszania)
 - Wiele podsieci w oparciu o jeden punkt dostępowy
- **Filtrowanie adresu MAC**
 - Lista blokowanych/dopuszczonych hostów
 - Konieczność aktualizacji
 - Możliwość podmiany MAC
- **Mechanizmy**
 - Szyfrowania (WEP, WPA)
 - Autentyfikacji (klucze, 802.1x)



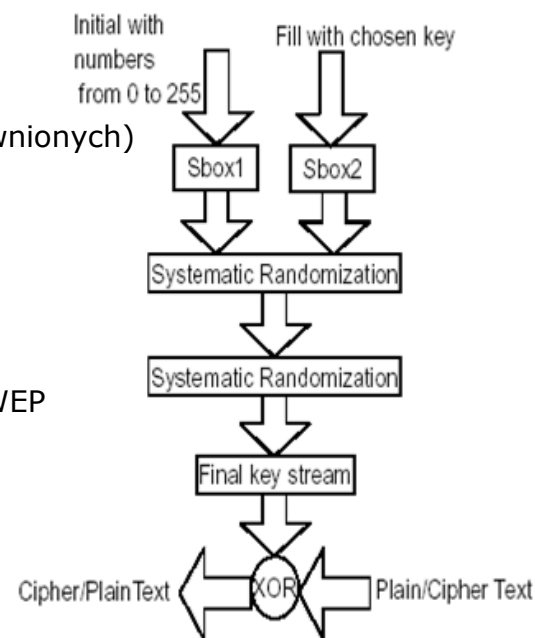
Szyfrowanie WEP

• Szyfrowanie WEP – Wired Equivalent Privacy

- Algorytm szyfrujący RC4
- Symetryczne klucze szyfrujące o długości 40 – 140 bitów (brak definicji sposobu dystrybucji klucza, założenie dostępu dla stacji uprawnionych)
- Oparty o operację XOR na kluczu i ciągu danych.
- Klucz
 - Część użytkownika + część zmienna (Initialization Vector)
 - Dla 128 klucza (104 + 24(IV)) - jedynie 16,5 mln unikatowych kluczy
- Stosunkowo łatwy do złamania
 - 2001 – FMS (Fluhrer, Mantin, Shamir) hipotetyczny sposób złamania WEP
 - Implementacja w laboratoriach IT&T
 - Oparte o słabe wektory IV (60 wektorów + dane)
- Obecnie niezalecany i rzadko stosowany

• TKIP (Temporary Key Integrity Protocol)

- Działa jako dodatkowy komponent, wzmocnienie WEP
- Wykorzystuje zaimplementowany sprzętowo WEP + zmiany w oprogramowaniu
- Odporny na FMS
- Klucze (algorytm mieszania kluczy – key mixing)
 - 128 bitowy klucz szyfrujący (AP i klient na tym samym kluczu)
 - 64 bitowy klucz do zapewnienia integralności (różne klucze dla AP i klienta)
- Wykrywanie braku spójności transmisji (numer sekwencji) – próby ataku
- Algorytm hashujący Michael – wykrywanie zmian w ramach



Szyfrowanie WPA

- **Protokół WPA – WiFi Protected Access**
- **WPA1 – 802.11i (draft z 2003r.)**
 - 802.1x + EAP + TKIP + MIC
 - Standard przejściowy między WEP a WPA2
 - Do migracji z WEP wystarczy zmiana oprogramowania
- **WPA2 – (2004) – 802.11i**
 - Algorytm CCMP (Counter Mode with CBC-MAC Protocol)
 - Bazuje na silnym algorytmie szyfrowania blokowego AES (Advanced Encryption Standard) w trybie pracy CCM
 - Klucze tymczasowe dla każdej nowej ramki (generowane w oparciu o klucz główny)
 - Uwzględnienie w szyfrowaniu
 - Adresu nadawcy
 - Numeru ramki
 - Parametrów QoS
 - Wymaga większej mocy obliczeniowej (AES)
 - Automatycznie generuje i rozpowszechnia klucze szyfrujące
 - 128 bitowe dynamiczne klucze sesyjne
 - 802.1x – protokół EAP – mechanizm uwierzytelniania tożsamości klienta
- **Dwie wersje**
 - WPA Personal – rozpowszechniany klucz (PSK – Pre Shared Key)
 - WPA Enterprise – metody autentykacji z rodziny 802.1X (serwer RADIUS)



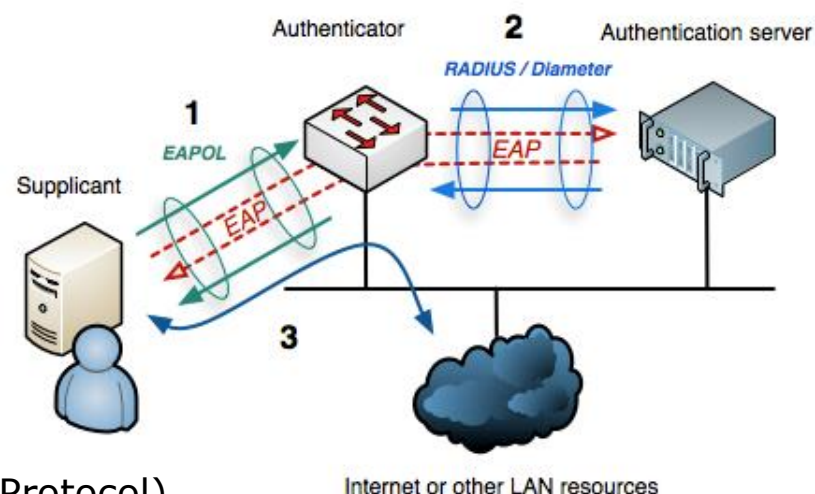
Mechanizmy autentyfikacji

- **W oparciu o klucz szyfrujący**

- WEP, TKIP, WPA1, WPA2 Personal
- Ręczne wpisanie klucza
 - Problem ze skalowalnością
 - Zmiana hasła po odejściu pracownika

- **802.1X**

- Adaptacja EAP (Extensible Authentication Protocol) zbiór reguł dotyczących uwierzytelniania
- Składowe procesu uwierzytelniania
 - EAP authenticator – strona uwierzytelniająca
 - EAP Authenticator Server – baza danych użytkowników
 - EAP supplicant – strona uwierzytelniana
- Protokół EAPoL (EAP over Lan)
- Możliwość przyznania uprawnień ograniczonych lub zablokowania użytkownika
- Uprawnienia:
 - ACL – Acces List
 - Lista dostępnych oraz zablokowanych dla użytkownika adresów



Moc sygnału sieci bezprzewodowej

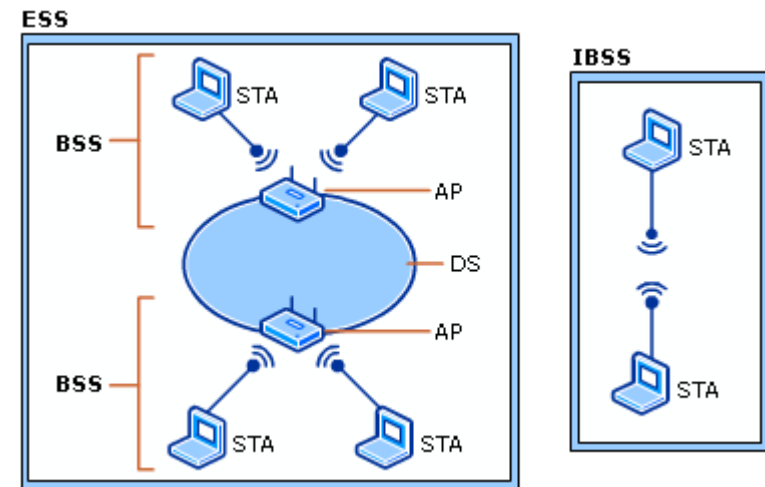
- **Maksymalna moc urządzeń na WiFi (2,4 GHz) w Polsce – 100 mW**
- **dBm - logarytmiczna jednostka miary mocy odniesiona do mW**
 - 100mW odpowiada 20dBm (najwyższa teoretyczna moc, jaką jesteśmy w stanie odebrać)
 - Moc maleje z kwadratem odległości
 - Moc jest wypromieniowana dookoła
 - Maksymalna odbierana moc sygnału (w praktyce) – ok. -30dBm
 - Typowa odbierana moc – -60 - -80 dBm
 - Problemy z połączeniem – -90 dBm

Nazwa elementu	Materiał	Grubość [cm]	Tłumienie [dB]
Ściana wewnętrzna	Cegła	10	7
Ściana zewnętrzna	Cegła	30	9
Ściana działowa	Gips i wełna szklana	7	2
Strop	Beton	30	11
Okno	Szkoło	2 x szyba + 1 cm przerwy	4,5
Drzwi	Drewno	4	2,5

Power (dBm)	Power (mW)
-40 dBm	0.0001 mW
-30 dBm	0.0010 mW
-20 dBm	0.0100 mW
-10 dBm	0.1000 mW
0 dBm	1.0000 mW
1 dBm	1.2589 mW
2 dBm	1.5849 mW
3 dBm	1.9953 mW
4 dBm	2.5119 mW
5 dBm	3.1628 mW
6 dBm	3.9811 mW
7 dBm	5.0119 mW
8 dBm	6.3096 mW
9 dBm	7.9433 mW
10 dBm	10.0000 mW
20 dBm	100.0000 mW
30 dBm	1000.0000 mW

Architektury sieci IEEE 802.11

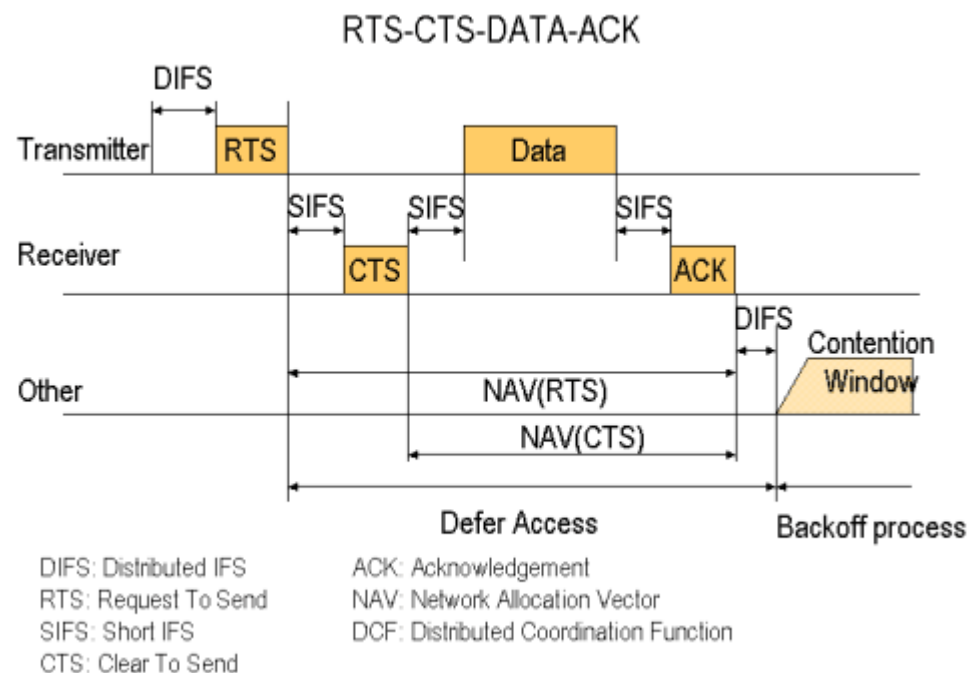
- **IBSS (ang. Independent Basic Service Set)**
 - pracująca w trybie ad-hoc
- **BSS (ang. Basic Service Set)**
 - Pracująca w trybie infrastrukturalnym
 - Co najmniej jeden punkt dostępowy (Access point) połączony z siecią przewodową
- **ESS (ang. Extended Service Set)**
 - Zestaw wielu obszarów BSS
 - Tworzą jedną sieć bezprzewodową dzięki połączeniom kablowym lub bezprzewodowym



CSMA/CA - charakterystyka

- **Carrier Sense Multiple Access with Collision Avoidance**
 - Protokół dostępu do łącza
 - Wiele stacji w jednym momencie
 - Śledzenie stanu nośnika
 - Unikanie kolizji
- **Stosowane w sieciach radiowych, np. IEEE 802.11**
- **Metoda działania**
 - Jednoadresowe ramki z potwierdzeniem
 - Ramki sterujące (RTS – request to send, CTS – clear to send) – zapewniając rezerwację medium
 - Gdy kanał zajęty – odczekanie czasu DIFS (Distributed Inter-Frame Space)
 - Rozdzielenie kolejnych transmisji czasem SIFS (Short IFS)
 - Stacje nie biorące udziału w transmisji pozostają w stanie NAV (Network Allocation Vector)

CSMA/CS – diagram sekwencji



CSMA/CA - podsumowanie

- **Zalety**
 - Wszystkie stacje o równych priorytetach
 - Prostota protokołu
 - Kolizje jako zdarzenia normalne
 - Zakłócenia rozpatrywane jako kolizje
- **Wady**
 - Niedeterministyczny czas dostępu do łącza
 - Wzrost liczby kolizji ze wzrostem obciążenia sieci
 - Wymagane dodatkowe potwierdzenia
 - Dodatkowe ramki (RTS, CTS)
 - Mała efektywność wykorzystania łącza

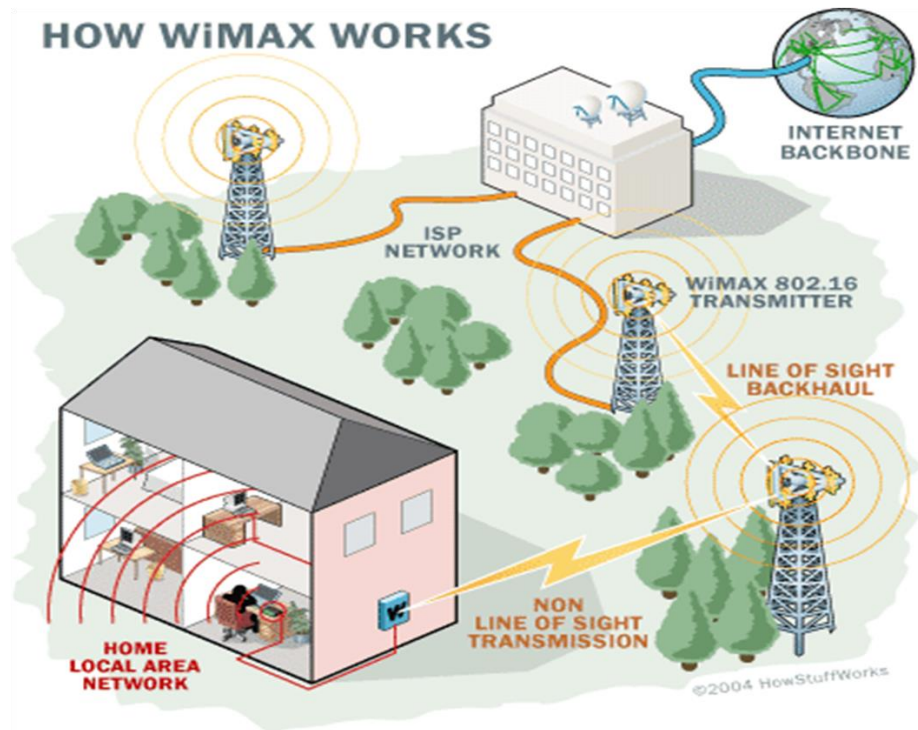
Standard IEEE 802.16 - WiMAX

- **WiMAX (World Interoperability for Microwave Access)**
- **Szerokopasmowe radiowe sieci dostępne dla dużych obszarów**
- **Maksymalna przepustowość: 75 Mb/s**
- **Maksymalny zasięg: około 50 km**
- **Zastosowania:**
 - Połączenia stacji bazowych GSM z siecią operatora
 - Pokrycie terenów słabo zaludnionych
 - Umożliwienie stałej łączności poza zasięgiem sieci 802.11 i sieci przewodowych
- **Zalety**
 - Lepsze parametry niż pozostałe sieci bezprzewodowe (zasięg, przepustowość, odporność na zakłócenia)
 - Niskie koszty eksploatacji
 - Wsparcie QoS
- **Wady**
 - Koncesjonowane pasmo (pozwolenia, przetargi)
 - Konkurencja ze strony telefonii komórkowej (UMTS, HSPA)
 - Mniejszy wachlarz urządzeń



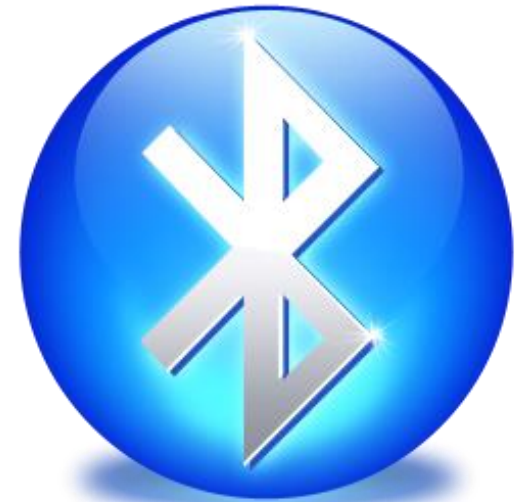
Standardy WiMAX

- **802.16**
 - Opublikowany w 2001 roku
 - Definicja warstwy mac i fizycznej
 - Zakres 10-66 GHz
- **802.16a**
 - Wprowadzone w 2003 roku
 - Zakres 2-11 GHz
 - Zasięg 10-50 km
 - Nie wymaga widoczności anten
 - Przepustowość 100Mb/s dla kanału 20 MHz
- **802.16b**
 - W paśmie UNII (5-6 GHz)
- **802.16d**
 - Zatwierdzony w 2004 roku
 - Separacja antenowa i podział na kanały
 - Brak dostępu mobilnego
- **802.16e**
 - Przyjęty w 2007 roku
 - Obsługa ruchomych stacji abonenckich



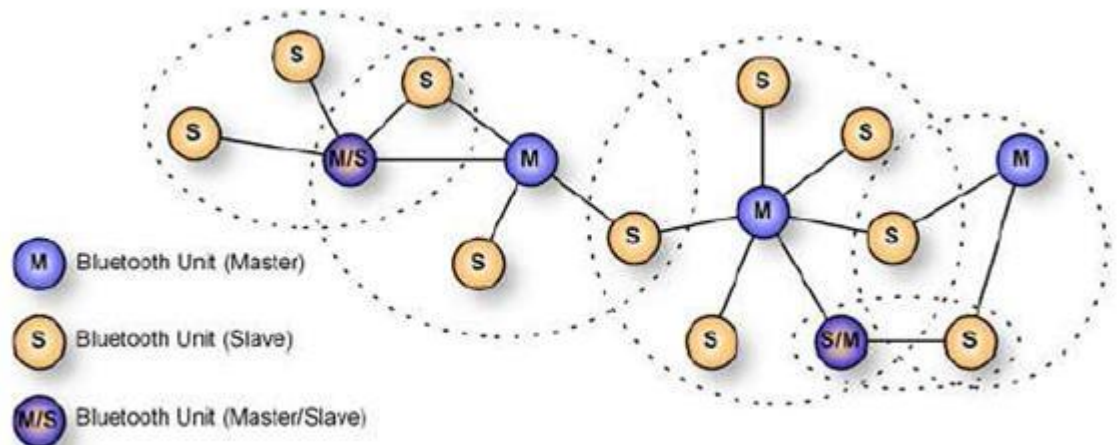
Standard IEEE 802.15.1 - Bluetooth

- **Standard 802.15.1**
- **Cechy**
 - Modulacja FHSS
 - Pasma 2,4 GHz
 - Przepustowość do 1-40 Mb/s
- **Zastosowania**
 - Sieci WPAN (Wireless Personal Area Network)
 - Łączenie komputerów w sieć lokalną
 - Przyłączanie urządzeń peryferyjnych
 - Komunikacja głosowa



Bluetooth – architektura sieci

- **Pikosieć – podstawowa jednostka sieci BT**
 - 1 węzeł master
 - Do 7 węzłów typu slave
 - Do 255 urządzeń w trybie uśpienia
- **Scatternet – łączenie pikosieci**
 - Master w jednej sieci – slave w drugiej
- **Współdzielenie jednego kanału komunikacyjnego**
- **Możliwość komunikacji 8 urządzeń jednocześnie**
 - Technika spread-spectrum frequency hopping
 - Współzakłócanie transmisji



Bluetooth - parametry

- **Klasy mocy sieci Bluetooth**

- Klasa 1 (100mW) – teoretyczny zasięg do 100m
- Klasa 2 (2,5mW) – teoretyczny zasięg do 10m
- Klasa 3 (1mW) – teoretyczny zasięg do 1m (rzadko używana)

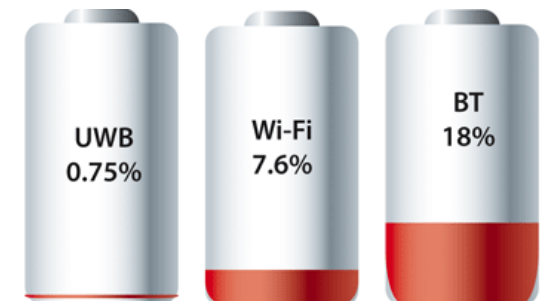
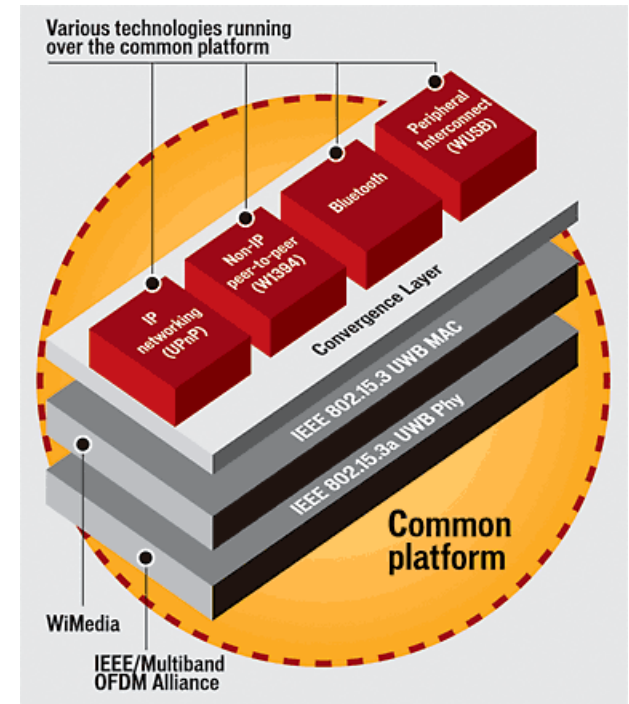
- **Wersje Bluetooth - przepustowość**

- 1.0 – 21 kb/s
- 1.1 – 124 kb/s
- 1.2 – 328/721 kb/s
- 2.0 – 2.1Mb/s
- 2.0 + EDR (Enhanced Data Rate) – 3,1 Mb/s
- 3.0 + HS (High Speed) – 24 Mb/s
- 3.1 + HS (High Speed) – 40 Mb/s
- 4.0 + LE (Low Energy) – 200 kb/s – zwiększony zasięg do 100m



IEEE 802.15.3 - UWB

- **UWB – Ultrawideband (Bluetooth)**
- **Przyjęty w 2003 roku**
- **Cechy**
 - Pasmo 2,4 GHz
 - Przepustowość
 - do 55 Mb/s do 50m
 - Do 22 Mb/s do 100m
 - Mały pobór mocy
 - Rozłożenie sygnału na szerokie spektrum częstotliwości
 - Krótkie impulsy elektryczne o bardzo małej mocy
- **Zastosowania**
 - Małe firmy, mini-sieci domowe
 - WPAN
 - Zastosowania militarne (lokalizacja obiektów)



Standard IEEE 802.15.4 - ZigBee

- **Zatwierdzony w 2003 roku**
 - **Zastosowania:**
 - Nadzór i kontrola w przemyśle
 - Łączenie komputera z peryferyjnymi czujnikami
 - **Pasma 2,4 GHz, 868 MHz (Europa), 915 MHz (USA)**
(dla niższych częstotliwości brak interferencji z innymi technologiami)
 - **Przepustowości**
 - 2,4 GHz – 250 kb/s
 - 868 MHz – 20 kb/s
 - 915 MHz – 40 kb/s
 - **Zasięg: 10-100 metrów**
 - **Bardzo mały pobór mocy**
 - **Architektury**
 - Gwiazda
 - Drzewo
 - Siatka
 - **Niewielkie przepustowości**
(do 250kb/s)
- 



Telefonia komórkowa

- **Historia**

- Wykorzystanie skandynawskiego systemu telefonii analogowej – NMT
- Pierwszy operator w Polsce – Centertel - 1991 rok
 - Od 1991 do 1998 - Centertel
 - Od 1998 do 2005 – Idea
 - Od 2005 - Orange
- Era GSM (od 2011 T-Mobile Polska) – 1996 rok
- Polkomtel (Plus GSM) – 1996 rok
- Play (P4) – 2007 rok

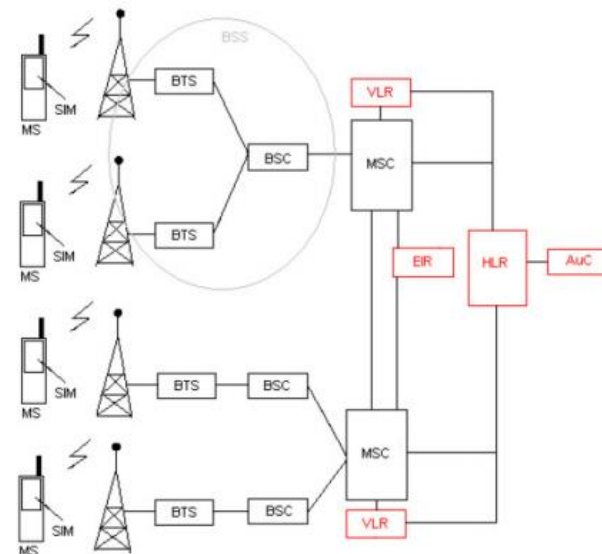
- **Rynek telefonii komórkowej (kwiecień 2014)**

- 56 mln aktywnych kart SIM
- Podział rynku (liczba abonentów)
 - T-Mobile Polska – 15,6 mln
 - Orange Polska – 15,3 mln
 - Plus – 14,1 mln
 - Play – 12,3 mln



Telefonia komórkowa – zasada działania

- **Pasma przepustowości**
 - 450 MHz, 900 MHz, 1800 MHz
- **Komórki**
 - Obszary z anteną pokrywające pewien obszar
 - Mogą na siebie zachodzić
 - Wielkość zależy od:
 - Rodzaju anteny
 - Ukształtowania terenu
 - Lokalizacji anteny
 - Zagęszczenia ludności
 - Ograniczenia przepustowości stacji
- **Elementy składowe**
 - BTS – stacja bazowa
 - BSC – kontroler stacji bazowych
 - MSC – cyfrowa centrala telefoniczna
 - HLR – rejestr stacji własnych
 - VLR – rejestr stacji obcych
 - AuC – rejestr identyfikacji terminali sprzętowych



Telefonia komórkowa

Generacja - technologia	Cechy	Przepustowość	Uwagi
1G – łączność analogowa	Jedynie przesyłanie głosu		Podatna na zakłócenia i podsłuchy W Polsce na początku lat 90 - centertel
2G - GSM	Cyfrowe przesyłanie głosu	9,6 kb/s	W Polsce od 1996
2G - HSCSD	Transmisja danych w GSM	D:57,6 kb/s, U:14,4 kb/s	Opłata naliczania za czas połączenia
2,5G – GPRS	Pakietowa transmisja danych	30-80 kb/s	Opłaty za ilość przesłanych danych
2,75G – EDGE	Rozszerzenie tech. GPRS	236 kb/s	Poprawa interfejsu radiowego Dynamiczna zmiana prędkości transmisji
3G – UMTS	Oparta na technologii High Speed Packet Access	D:21,6 Mb/s, U:5,7 Mb/s	Obsługa wideorozmów, QoS – sterowanie mocą, MIMO
4G - LTE	Long Term Evolution	D: 100 Mb/s, U: 50 Mb/s	4x4 MIMO, promień komórki – do 5km

Literatura

Igor Kurytnik, Mikołaj Karpiński: Bezprzewodowa transmisja informacji
Bateman, A., Digital Communications Design for the Real World, Prentice Hall, 1998
Gała Z.: Sieci komputerowe księga eksperta. Wyd. Helion, Gliwice 2004
Kurose J., Rose W.: Sieci komputerowe. Wydanie V, Helion, Gliwice 2010
Zieliński B., Bezprzewodowe sieci komputerowe, Wydawnictwo Helion, Gliwice
W.Graniszewski, E.Grochocki, G.Świątek – Wprowadzenie do sieci bezprzewodowych WLAN, Sieci Komputerowe, E-Studia Informatyczne