

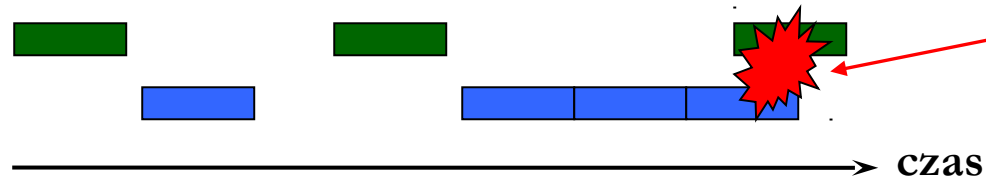


Częstotliwości transmisji bezprzewodowej

Zasoby dla transmisji bezprzewodowej (#1)

1. Czas:

użytkownik 1
użytkownik 2



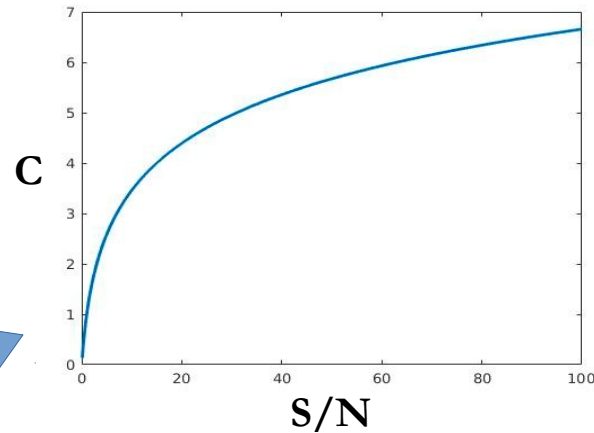
2. Moc sygnału:

pojemność kanału
radiowego [bit/s]

pasmo
częstotliwości [Hz]

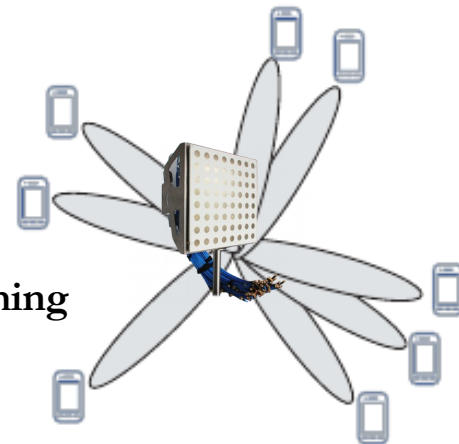
$$C = B \cdot \log_2 \left(1 + \frac{S}{N} \right)$$

wydajność widmowa
(współczynnik wykorzystania pasma)
[bit/s/Hz]



3. Przestrzeń:

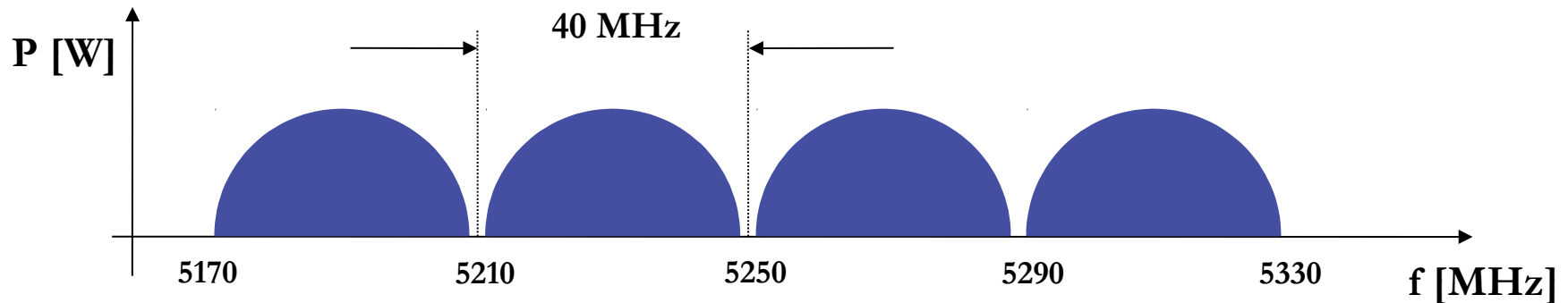
np. MIMO, beamforming



Zasoby dla transmisji bezprzewodowej (#2)

4. Pasmo częstotliwości: $C = B \cdot \log_2\left(1 + \frac{S}{N}\right)$

Przykład przydziału częstotliwości w paśmie 5 GHz:



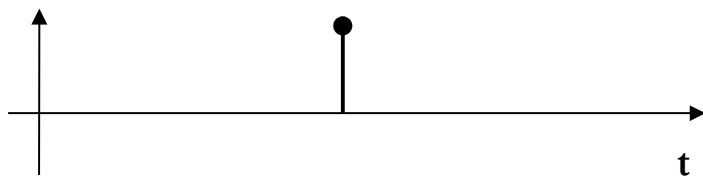
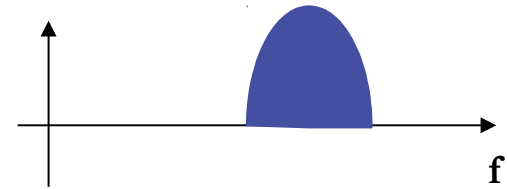
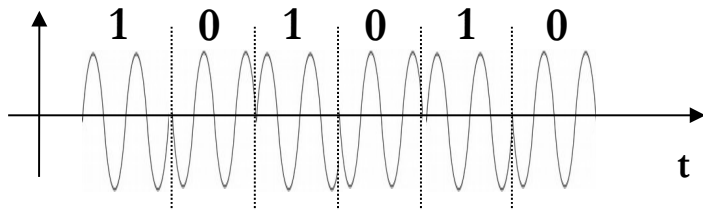
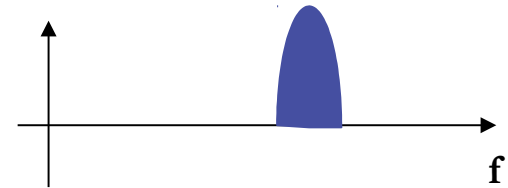
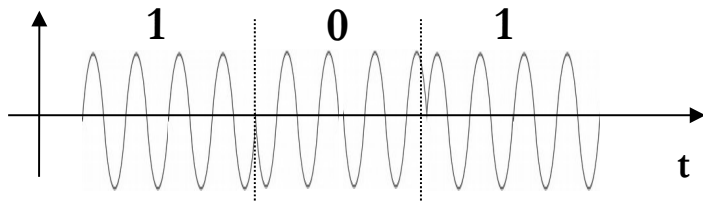
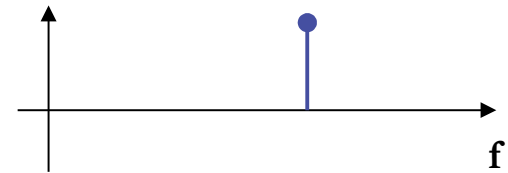
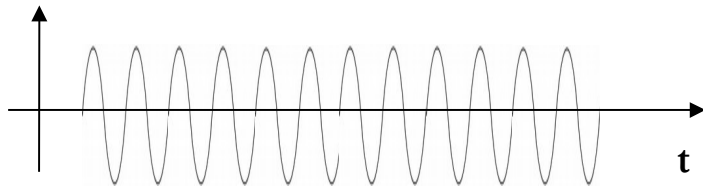
Im szersze pasmo, tym szybsza transmisja!

Podstawowo mamy 1 bit/s z każdego Hz pasma (wydajność widmowa), czasem trochę mniej, a często kilkukrotnie więcej.

Pasmo nadawanego sygnału

Dziedzina czasu

Dziedzina częstotliwości

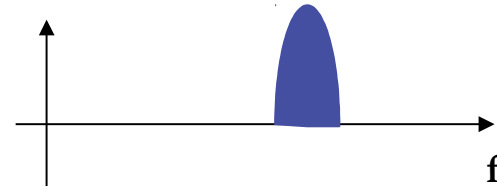
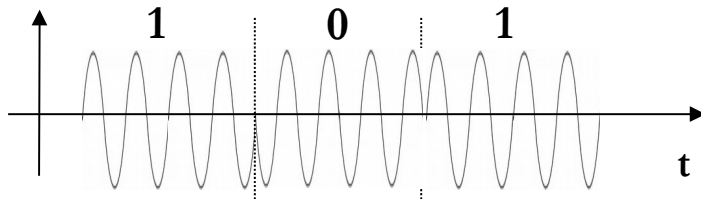
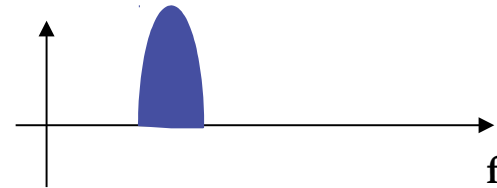
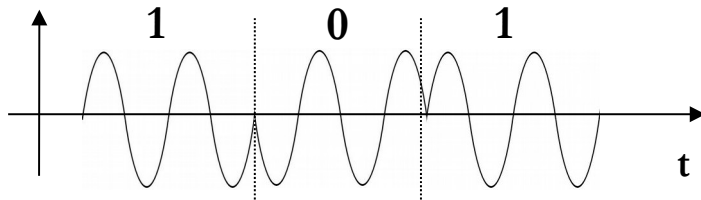


Co potrafimy zrobić z sygnałem? (#1)

1. Ustawić w wybranym przedziale częstotliwości (**modulacja**):

Dziedzina czasu

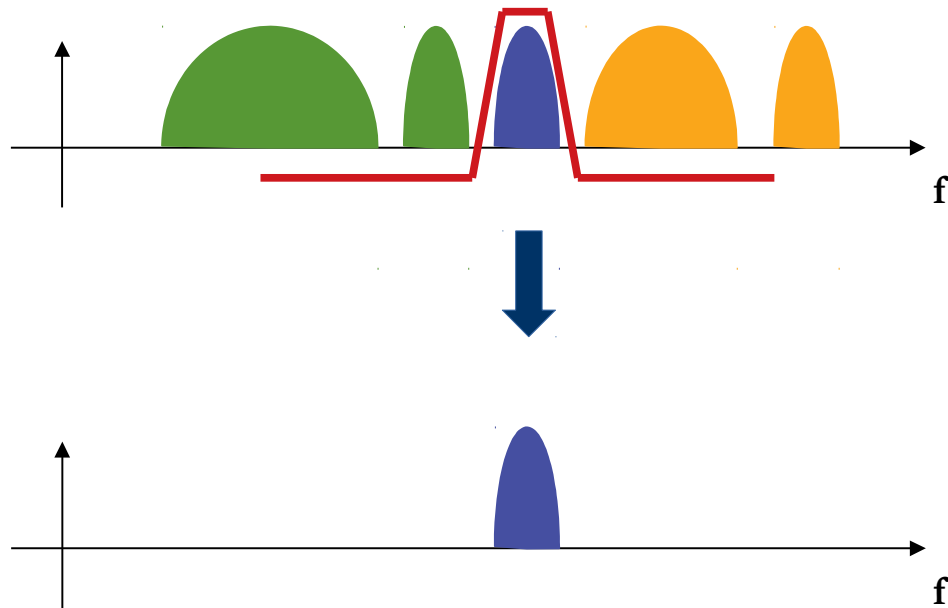
Dziedzina częstotliwości



Co potrafimy zrobić z sygnałem? (#2)

2. Odebrać wybrany sygnał (**filtracja**):

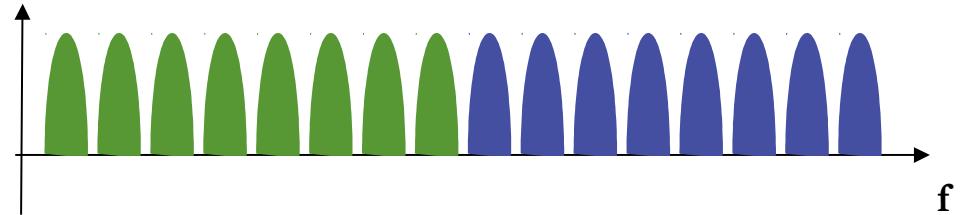
Dziedzina częstotliwości:



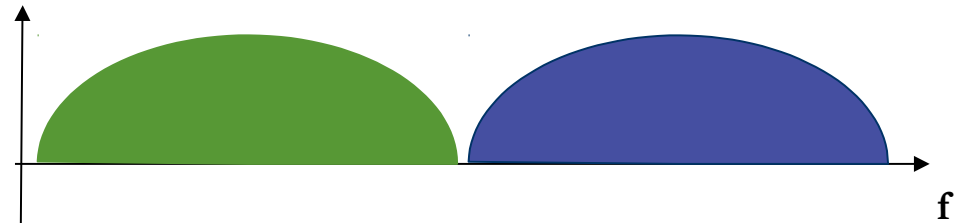
Transmisje sygnałów

Dziedzina częstotliwości:

Transmisje wąskopasmowe:

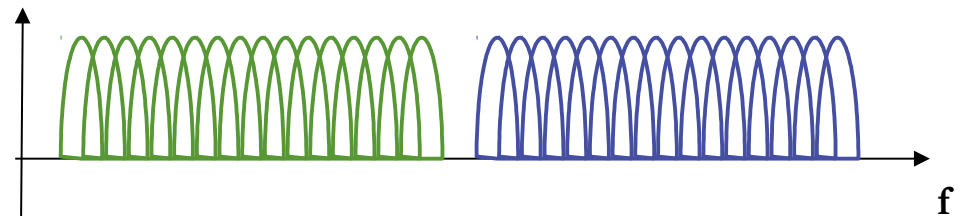


Transmisje szerokopasmowe:



Teaser/trailer:

OFDM:

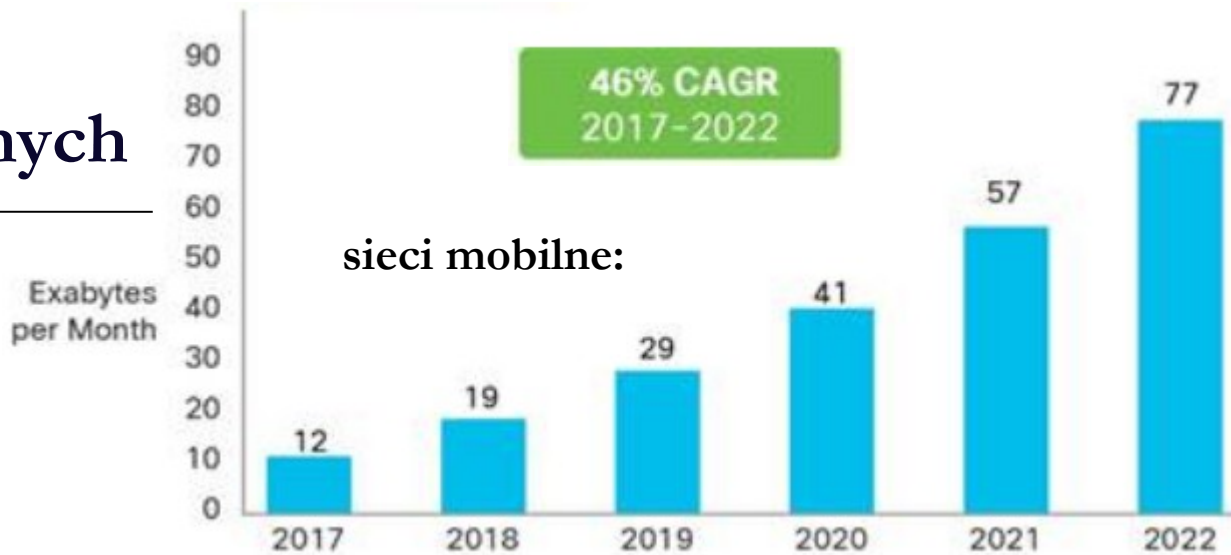


Fale milimetrowe (*mmWave communication*)

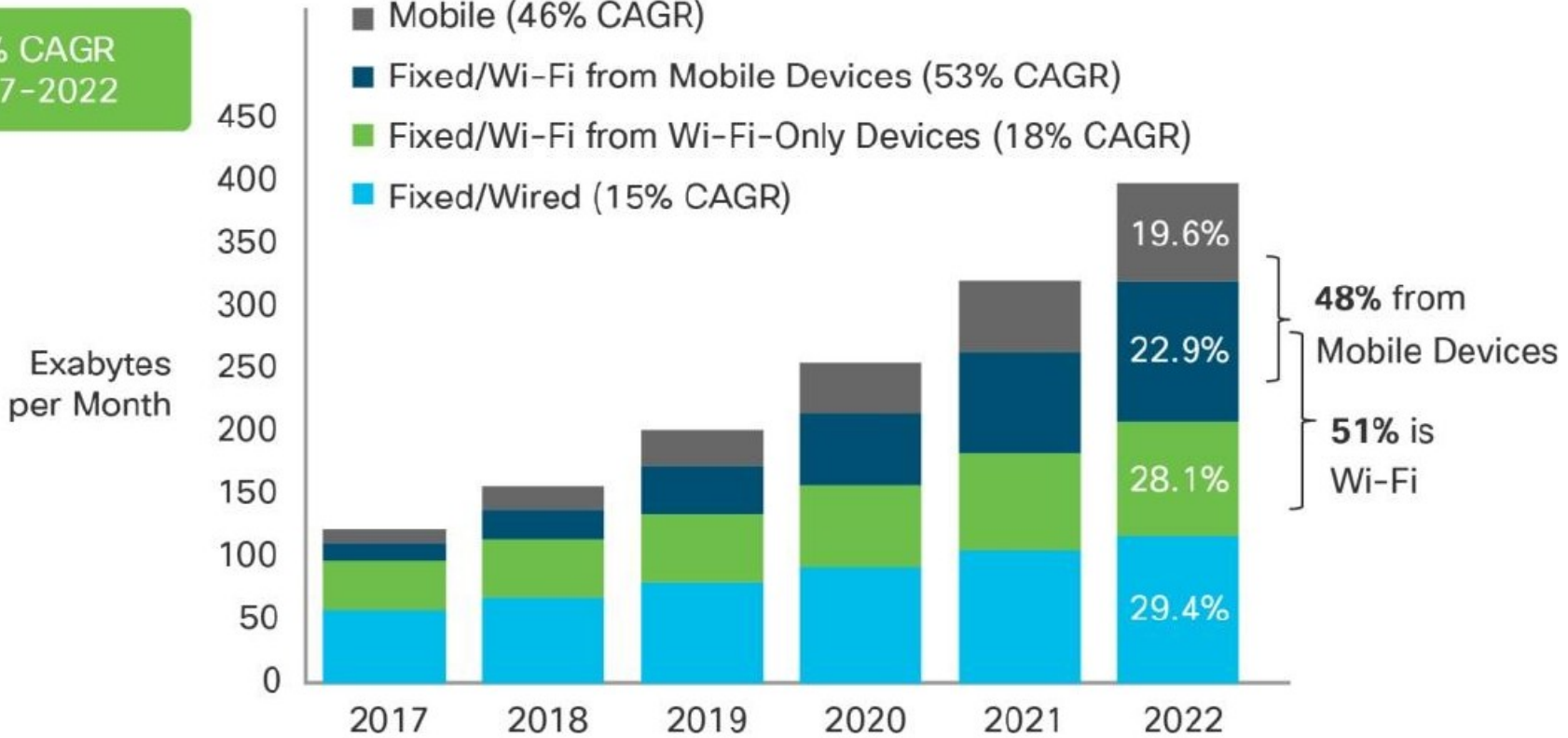
Źródła:

- Cisco Networking Index, 2017
- I. Hemadeh et al. "Millimeter-Wave Communications: Physical Channel Models, Design Considerations, Antenna Constructions, and Link-Budget", IEEE Communications Surveys & Tutorials, 2018
- S. Sun et al. "Propagation Models and Performance Evaluation for 5G Millimeter-Wave Bands", IEEE Transactions on Vehicular Technology, 2018
- T. Rappaport et al. " State of the Art in 60-GHz Integrated Circuits and Systems for Wireless Communications", Proceedings of the IEEE, 2011
- N. Kukutsu, Y. Kado, "Overview of Millimeter and Terahertz Wave Application Research ", NTT Technical Review, 2009
- <http://www.e-band-com>, <http://www.medium.com>

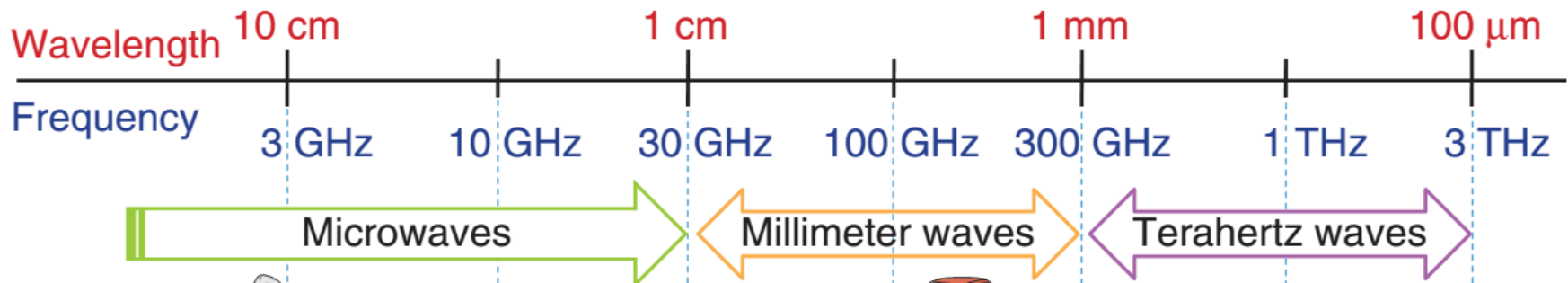
Motywacja: globalny transfer danych



26% CAGR
2017-2022

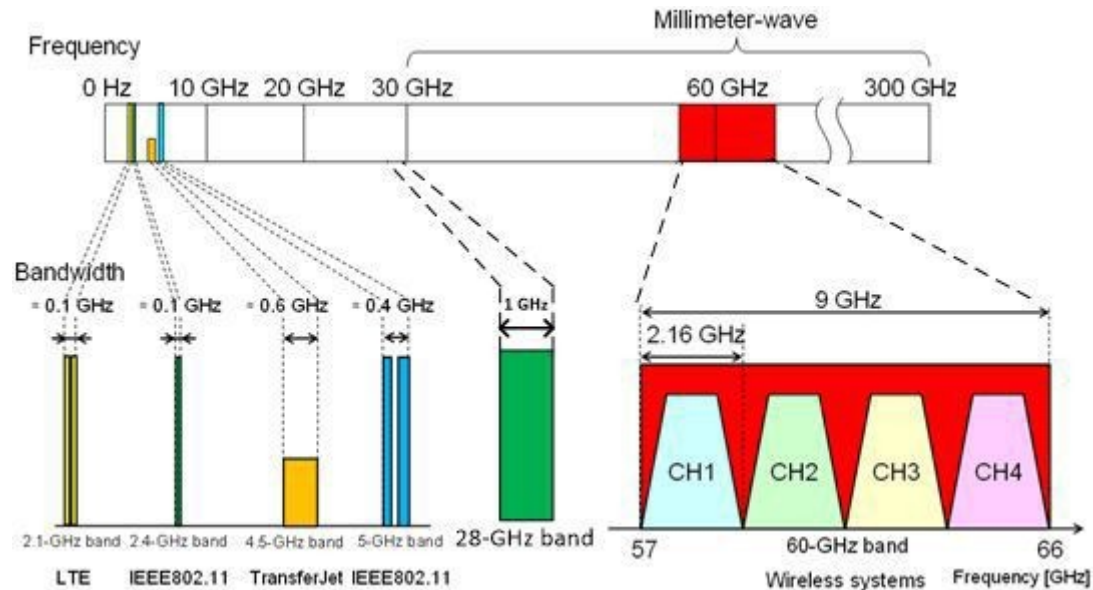


Komunikacja na falach milimetrowych



Dla sieci mobilnych
(komórkowych) 5G...

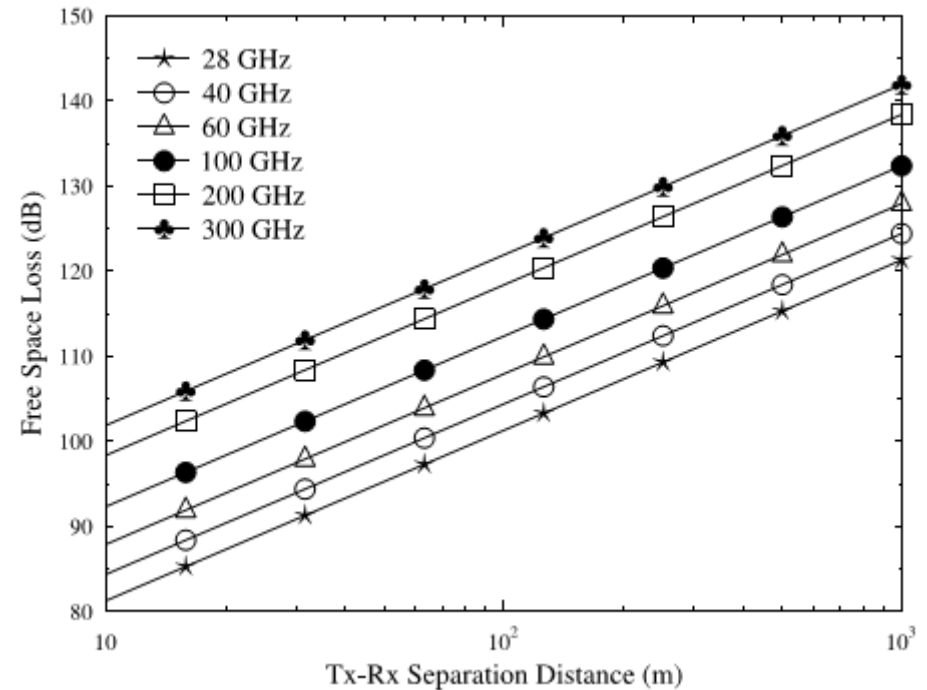
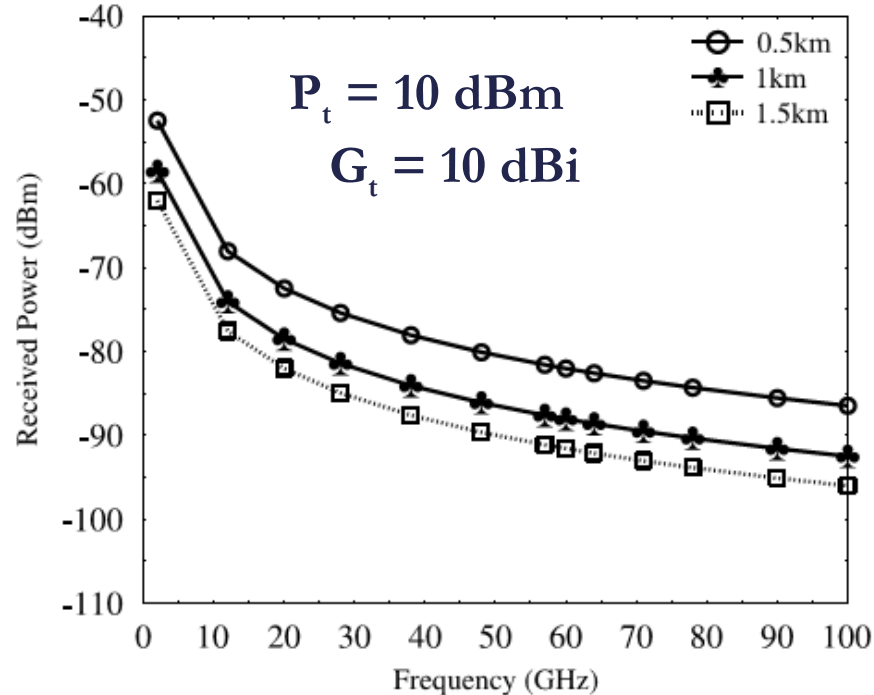
... i dla sieci WiFi – IEEE 802.11ad:



Wpływ częstotliwości

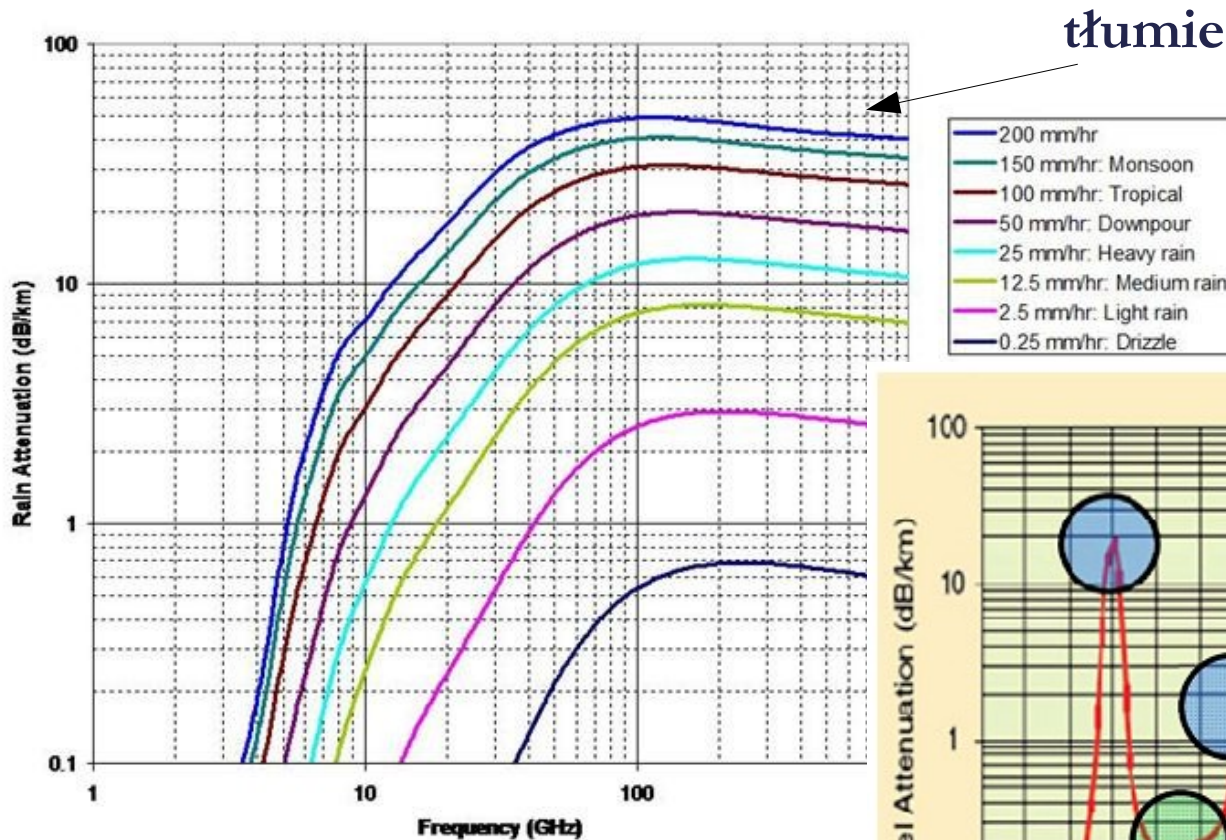
$$FSL_{dB} = 32.44 + 20 \log r_{km} + 20 \log f_{MHz}$$

$$FSL_{dB} = 92.44 + 20 \log r_{km} + 20 \log f_{GHz}$$



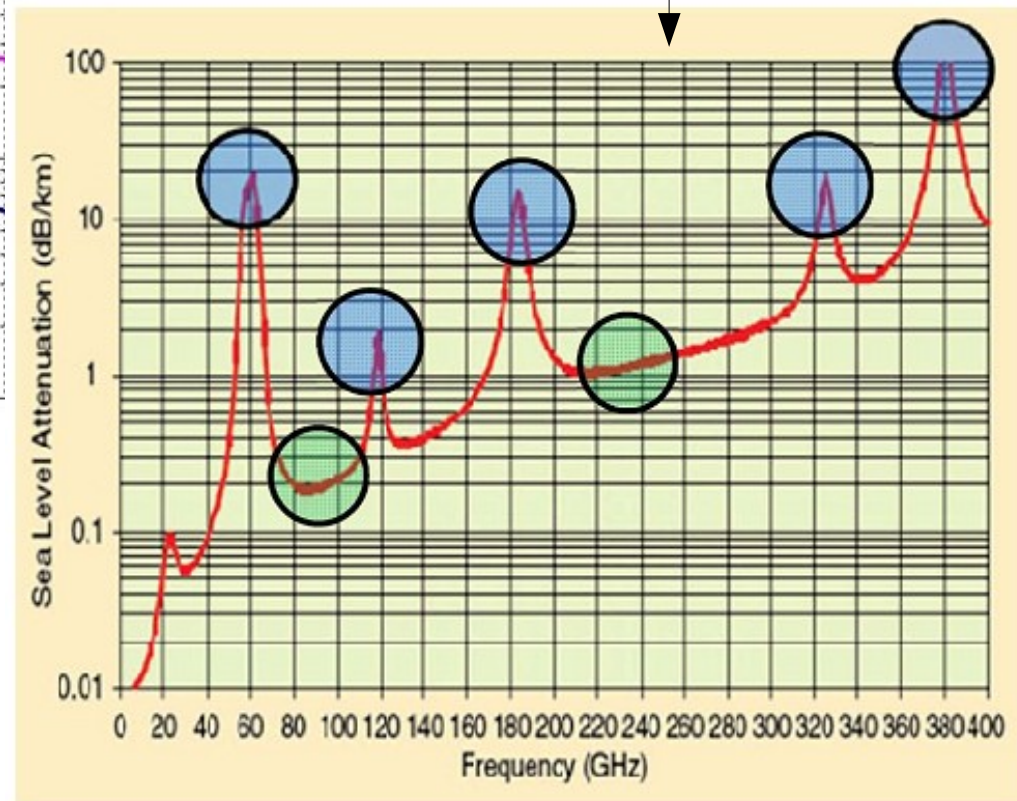
przy zmianie pasma 3 GHz → 30 GHz: +20 dB tłumienia

Wpływ atmosfery i deszczu



tłumienie deszczu

tłumienie atmosfery suchej



Z częstotliwością rośnie również tłumienie przeszkód: ścian i roślinności

Jak skompensować tłumienie sygnału?

**Wzrost tłumienia
(wysokie częstotliwości)
kompensowany jest przez
układy anten i ograniczenie
zasięgu (mniejsze komórki)**

**dodatkowe pasmo
częstotliwości (mmWave)**



**dodatkowe anteny
(Massive MIMO)**

**wyższa gęstość sieci
(micro/pico cells)**

Fale milimetrowe - podsumowanie

- bardzo duże przepustowości, rzędu Gbit/s
- wraz z częstotliwością rośnie tłumienie:
 - w wolnej przestrzeni
 - w atmosferze
 - w deszczu
 - ścian
 - roślinności
- konieczność kompensacji dużych tłumień, np. zyskami anten – wątpliwe w przypadku urządzeń mobilnych, konieczne duże układy typu Massive MIMO i ograniczenie zasięgu komórek

Komunikacja w paśmie THz i wyższym

Częstotliwości THz

- częstotliwości 0.1 – 10 THz
- głównie propagacja LOS:
 - bardzo duże tłumienia przy odbiciach
 - rozproszenie sygnału na nierównościach powierzchni
- problemy z generatorami sygnału, brak odpowiedniej technologii
- zasięgi (LOS) rzędu 1 m
- przepustowości: ~ 100 Gbit/s
- zastosowanie wewnątrz pojedynczego pomieszczenia

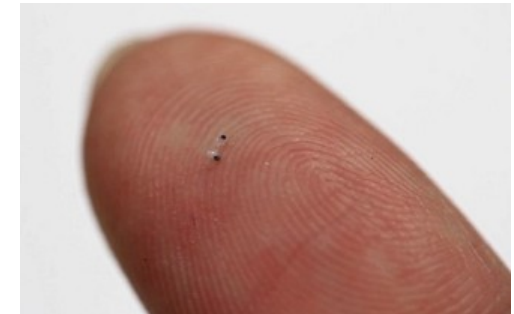
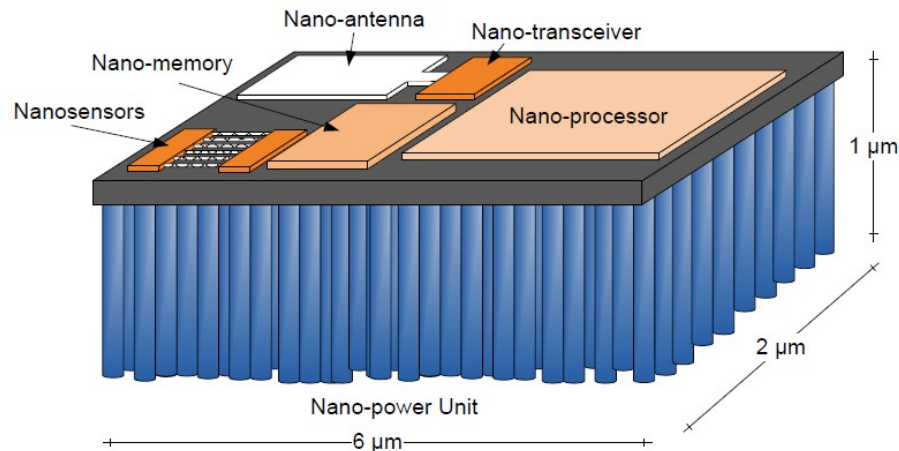


Komunikacja THz

Zastosowanie:

komunikacja między mikro/nano maszynami:

- zasięg wewnątrz ciała ludzkiego: kilka milimetrów
- materiały: nanorurki węglowe i grafen
- pobieranie energii z otoczenia (energy harvesting)
- nanodrutki z tlenku cynku (ZnO nanowires)



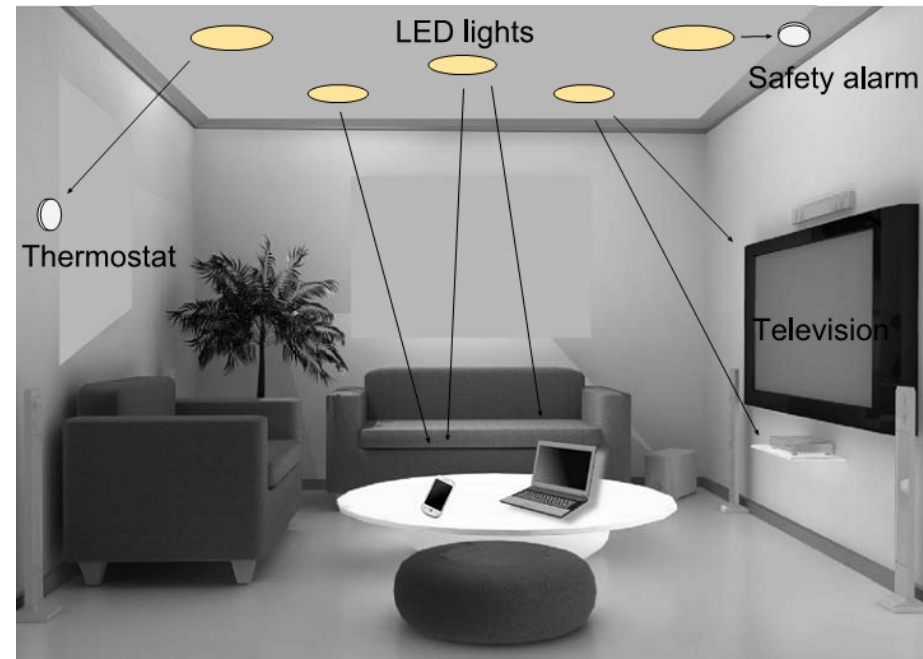
Free Space Optical (FSO) Communication

- częstotliwości: 200-750 THz (podczerwień, prom. widzialne)
- technologia optyczna (lasery), bardzo duże zyski kierunkowe
- komunikacja typu fixed point-to-point, zasięgi rzędu kilku kilometrów
- przepustowości: rzędu 10 Gbit/s
- zastosowania:
 - łącza typu back-haul, między sieciami LAN i WAN, międzysatelitarne
- podatność na zakłócenia atmosferyczne, śnieg, deszcz i mgłę



Visible Light Communication (VLC)

- promieniowanie widzialne 400-750 THz
- pojedyncze pomieszczenie
- warunki LOS
- przepustowości: 100 Mbit/s – kilka Gbit/s
- standard IEEE 802.15.7



Systemy ultra szerokopasmowe

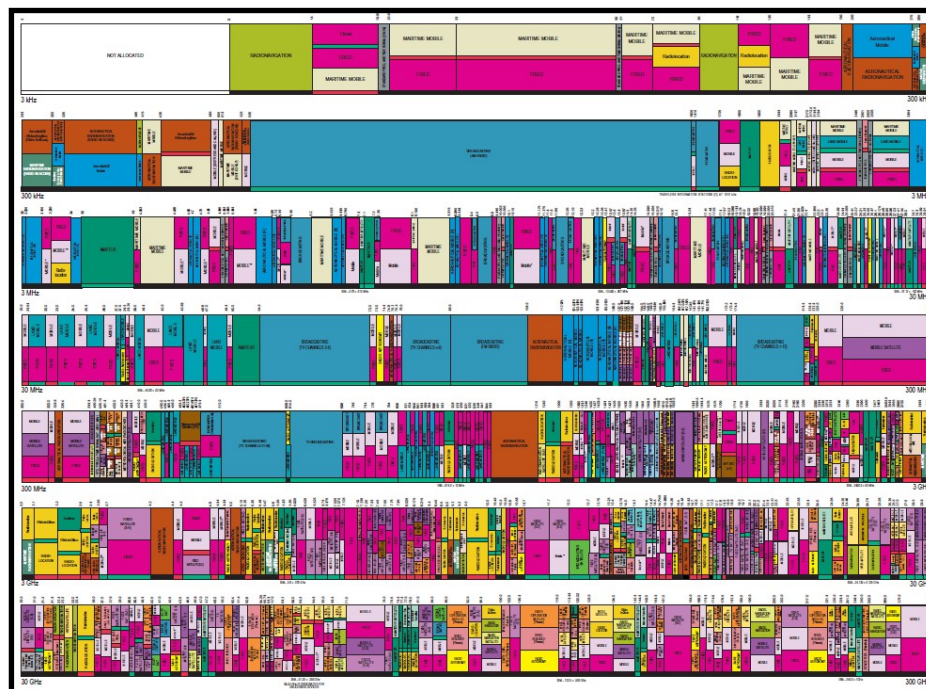
Ultra-WideBand



Sposoby wykorzystania pasm częstotliwości

Podejście klasyczne, podział na pasma:

- dzierżawione (operatorzy),
- swobodnie dostępne, np. ISM band (2.4 GHz)
- niekomercyjne, dedykowane (służby, lotnictwo, astronomia, amatorzy)



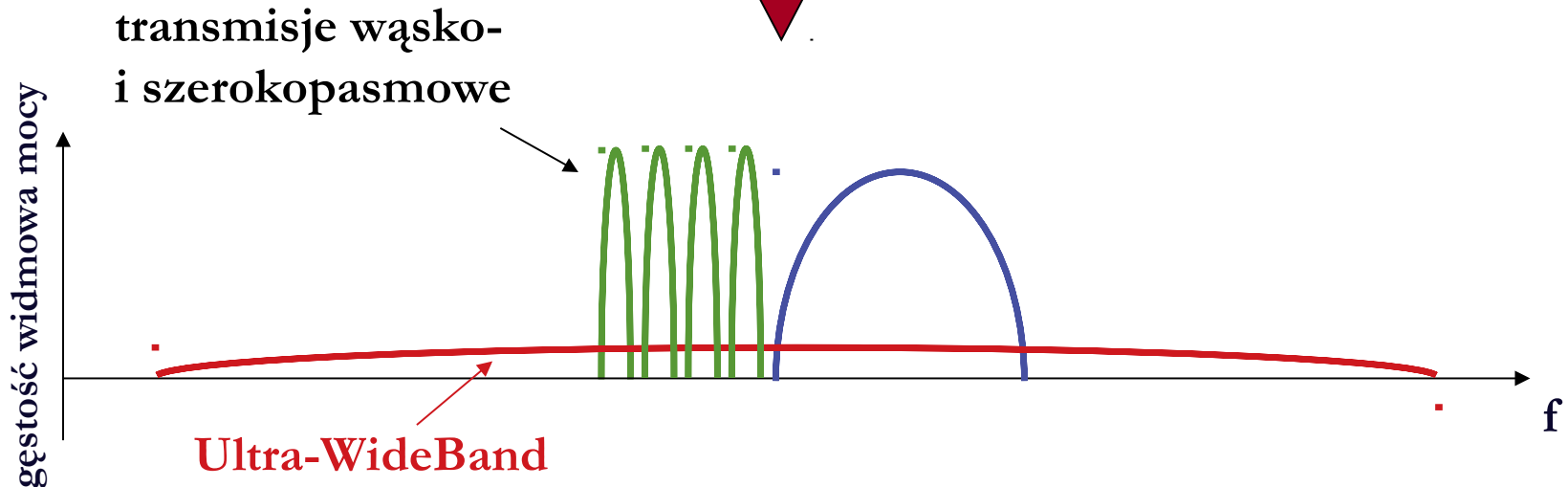
Wracając do formuły Shannona...

pojemność kanału radiowego [bit/s]

$$C = B \cdot \log_2(1 + SNR)$$

pasmo częstotliwości [Hz]

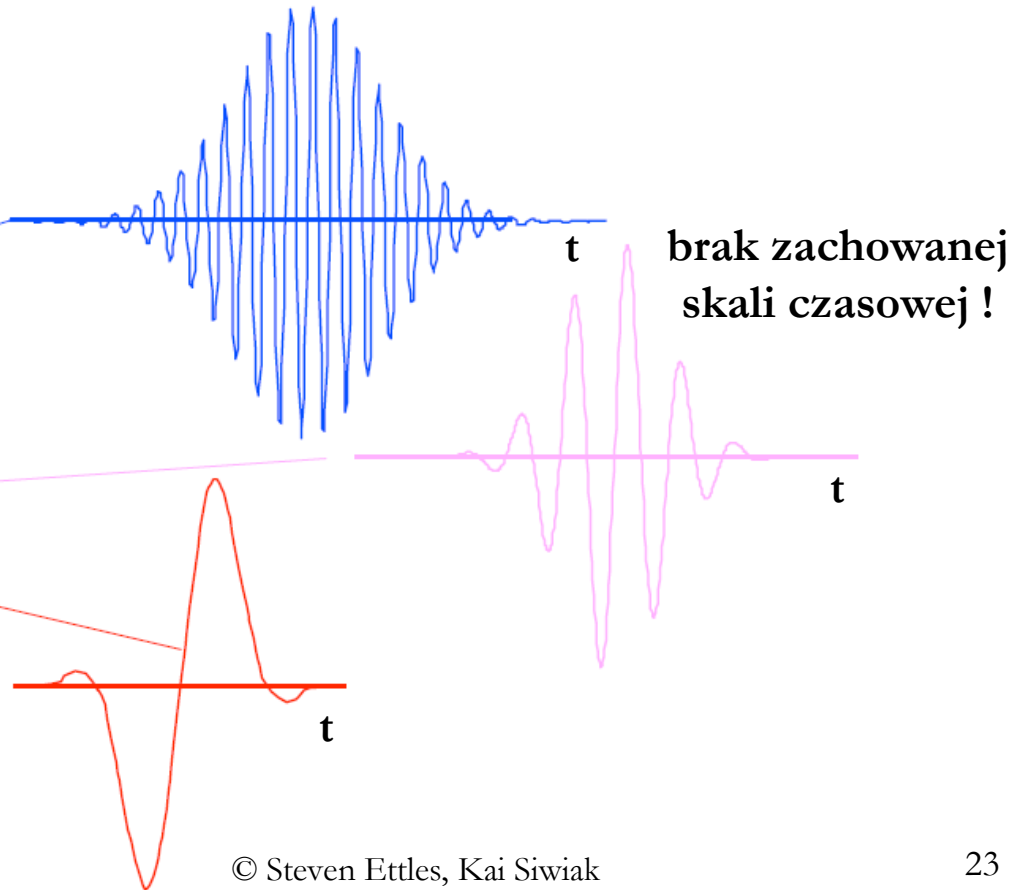
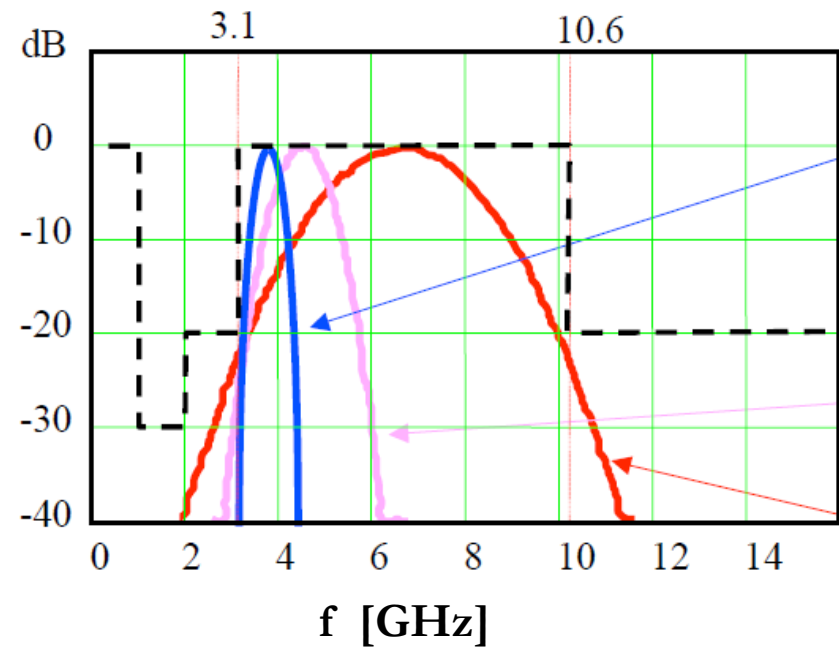
wydajność widmowa
(współczynnik wykorzystania
pasma) [bit/s/Hz]



Sygnały UWB

- impulse radio
- short-pulse
- carrier-less
- time domain
- super wideband
- monopulse

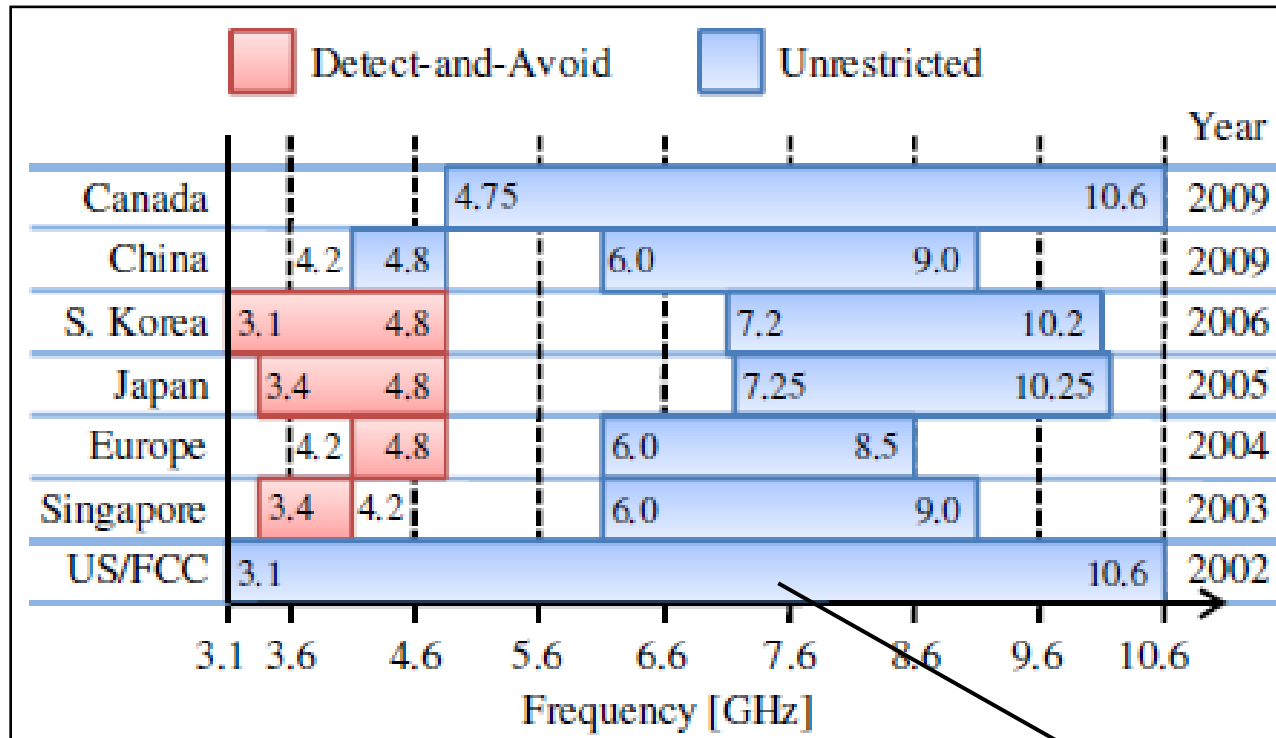
względna widmowa
gęstość mocy



Przydział pasma częstotliwości

Dopuszczalne EIRP w przydzielonych pasmach:

- 41.3 dBm/MHz



Maksymalna moc: 0.6 mW

Dlaczego UWB?

1. Duża przepustowość kanałów radiowych
2. Niskie zużycie mocy
3. Prostota i niski koszt układów nadawczych
4. Gęstość widmowa poniżej poziomu szumów
5. Odporność na zakłócenia, interferencje, prop. wielodrogową
6. Bardzo krótki czas trwania sygnału -> dokładność lokalizacji

Ale...

Trudności ze skonstruowaniem odbiorników:

- bardzo wysoka częstotliwość próbkowania
- synchronizacja
- wielodrogowość → ogromna liczba komponentów sygnału
- estymacja kanału



**Odbiorniki
niekoherentne ED
(*energy detectors*)**

Zastosowania, potencjalny rynek

1. Transmisja między urządzeniami domowymi i biurowymi, dystrybucja treści multimedialnych (*indoor applications*)

2. Medycyna (czujniki, implanty, wszczepy, sondy, badania radarowe)

3. Sterowanie urządzeniami przemysłowymi

**Duże
przepustowości,
mały zasięg**

Standard IEEE 802.15.4a: Low Rate WPANs Alternative PHY (**UWB**)

4. Lokalizacja, techniki radarowe

**Małe
przepustowości,
duży zasięg**

Radarowe zastosowania UWB

Techniki radarowe:

- wojskowość
- medycyna
- geologia
- nawigacja



Współczynnik odbicia

zależy od

ϵ , μ i σ

stykających się

ośrodków



Rozpoznawanie
obiektów:

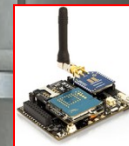
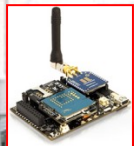
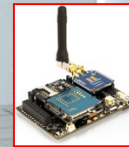
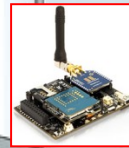
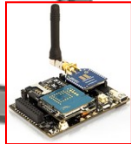
- ich rodzaju
- kształtu
- położenia

na podstawie:

- amplitud
- opóźnień

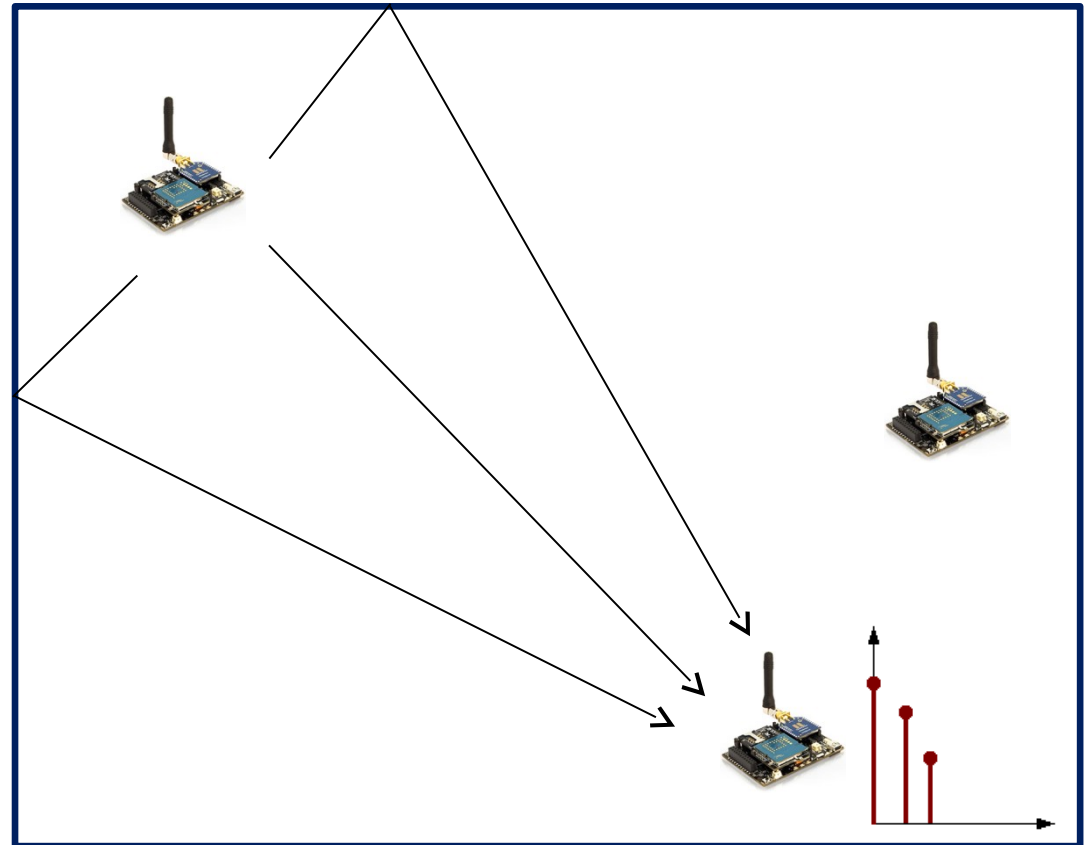
odbieranych fal odbitych

Lokalizacja pasywna



Systemy UWB w środowisku wielodrogowym:

- rozróżnialne komponenty profilu mocy sygnału
- przypasowanie komponent-droga propagacji



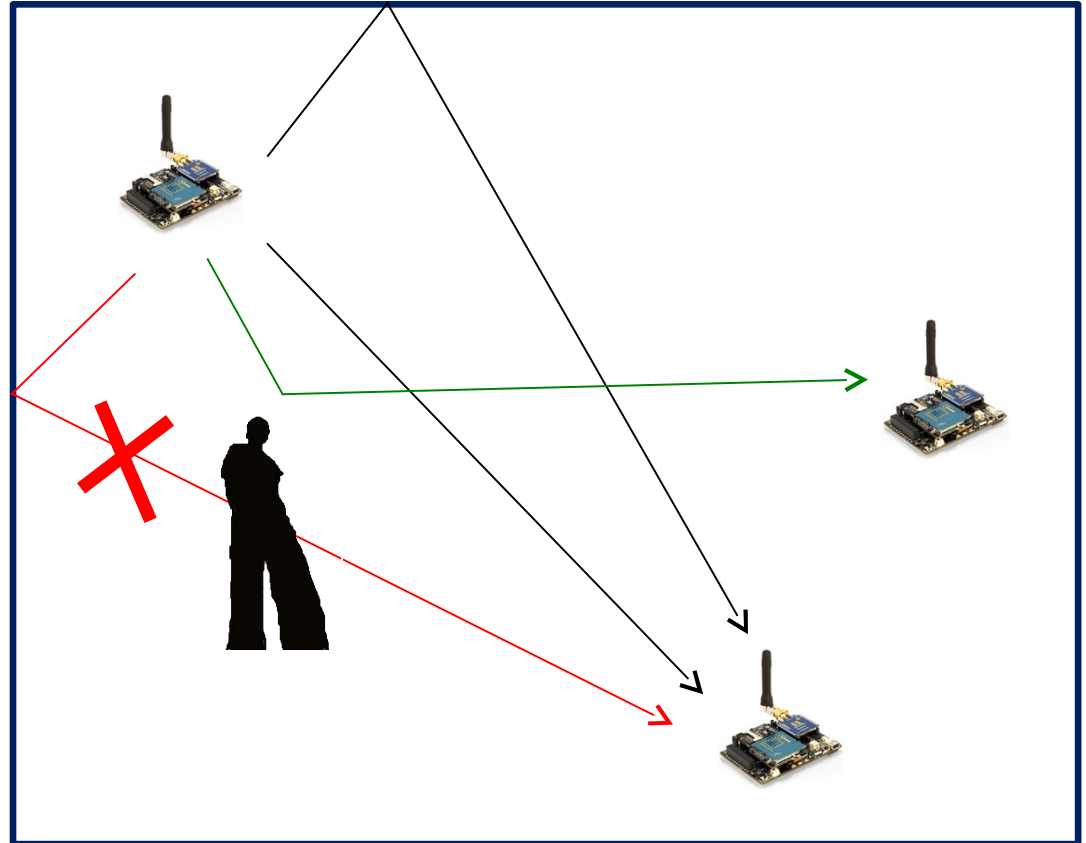
Założenie:

znana topologia środowiska propagacji!

Śledzenie zmian profili mocy kanałów

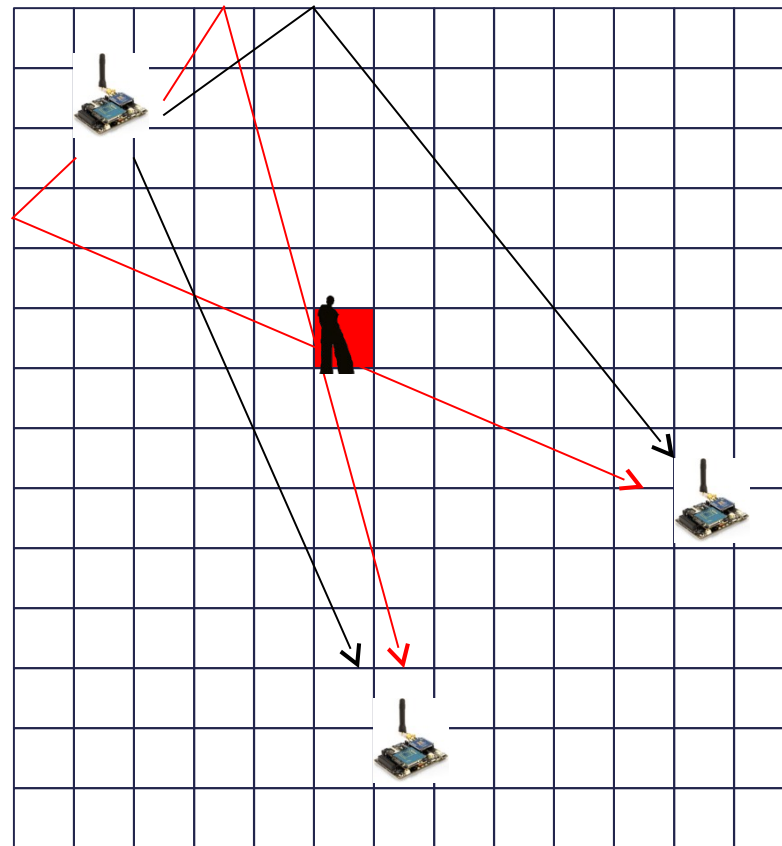
Klasyfikacja komponentów wielodrogowych:

- nowe (odbite)
- zablokowane
- niezmienione

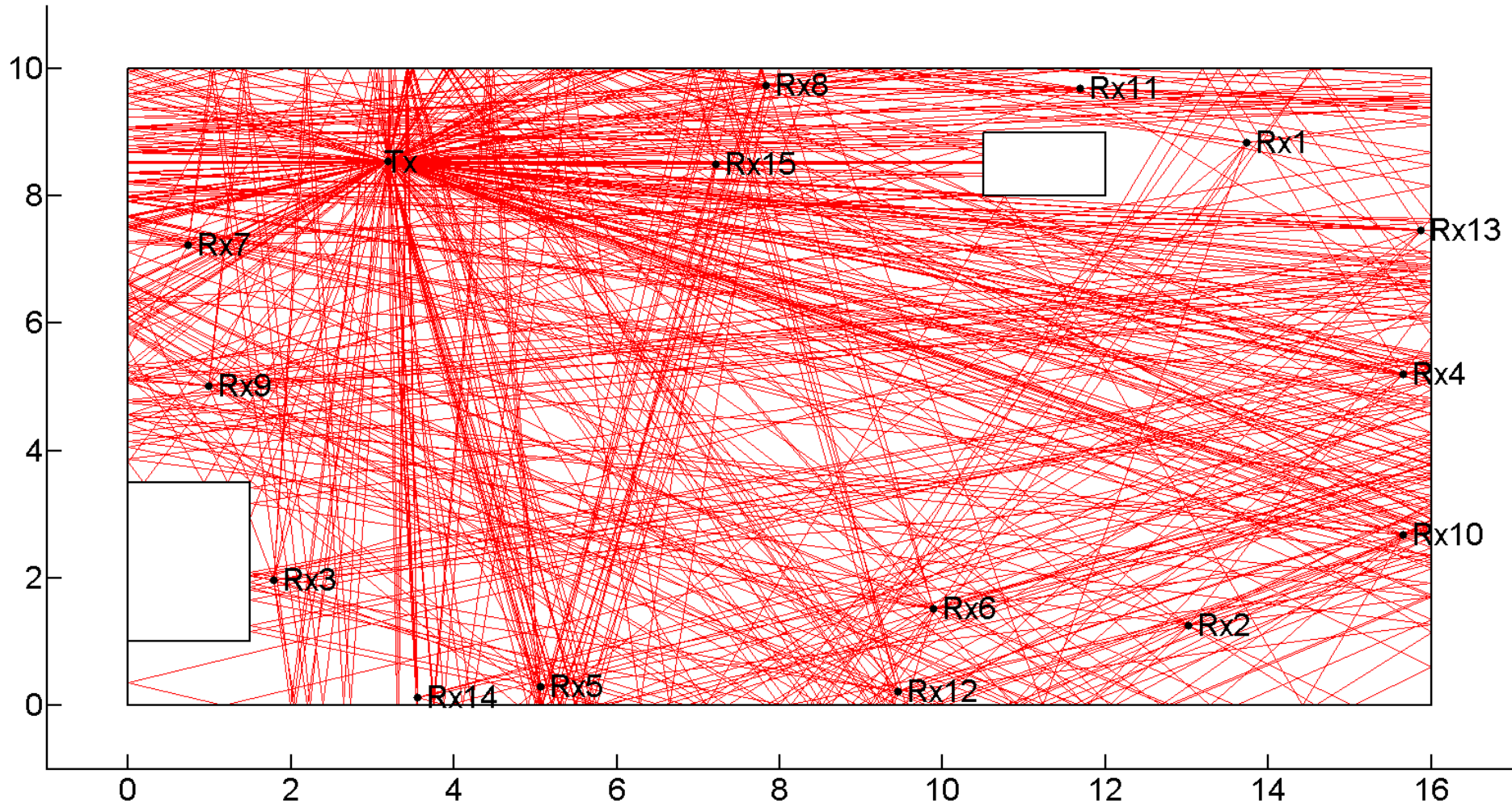


Algorytm lokalizacji pasywnej

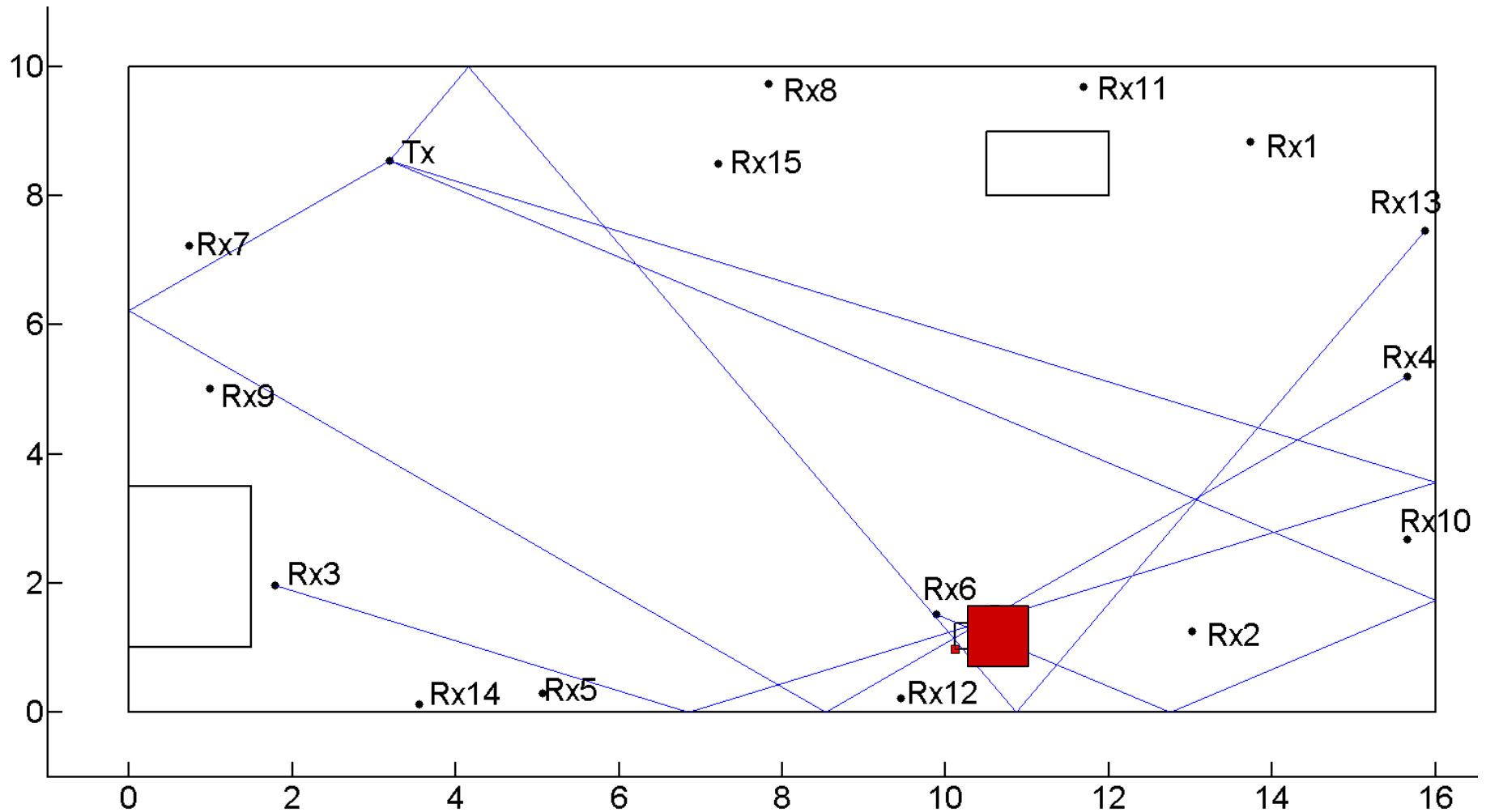
- podział pomieszczenia na sektory
- punkty przecięcia komponentów zablokowanych => obiekt
- komponenty niezmienione => brak obiektu



Przykład: przed wejściem obiektu



Przykład: promienie zablokowane



Lokalizacja pasywna: podsumowanie

- zastosowanie głównie do wnętrz budynków
- konieczność rejestracji zmian profilów mocy sygnałów między Tx a Rx systemu
- lokalizacja i śledzenie obiektów nie posiadających urządzenia radiowego
- wykorzystanie trzech rodzajów komponentów wielodrogowych:
 - odbitych
 - zablokowanych
 - niezmiennych
- możliwość jednoczesnego śledzenia wielu obiektów



**Dziękuję
za wspólne wykłady!**