

Sieci urządzeń mobilnych

Część 3 wykładu

SKO2

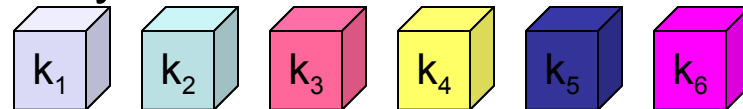
Mapa wykładu

- ❑ Wprowadzenie
 - Dlaczego mobilność?
 - Rynek dla mobilnych urządzeń
 - Dziedziny badań
- ❑ Transmisja radiowa
- ❑ Protokoły wielodostępowe
- ❑ Systemy GSM
- ❑ Systemy satelitarne
- ❑ Bezprzewodowe sieci lokalne

Multipleksacja

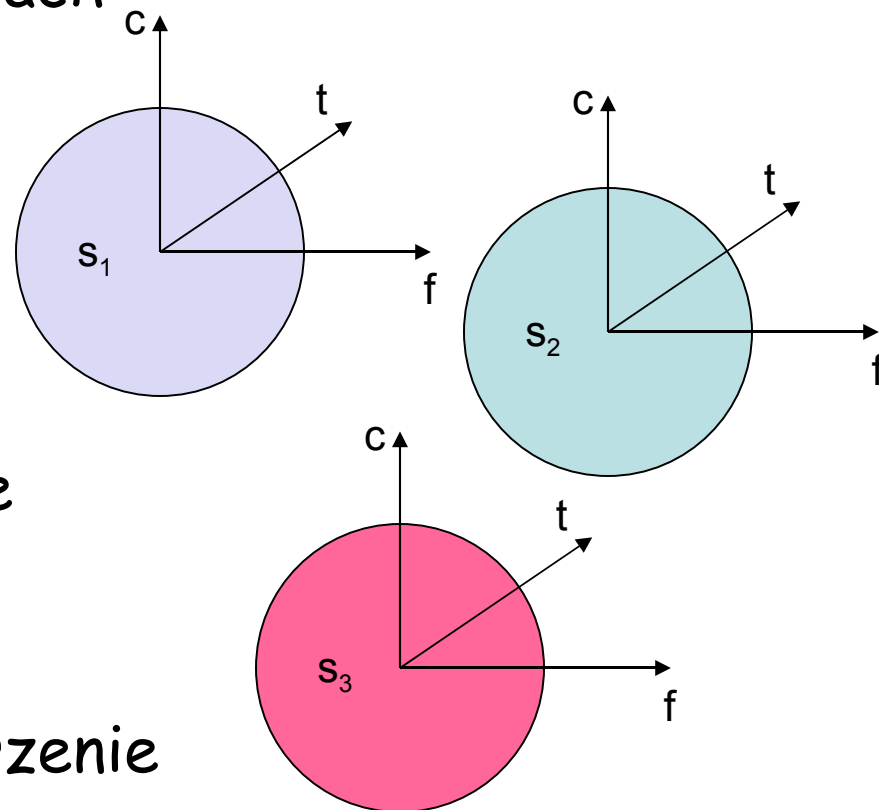


kanały k



□ Multipleksacja w 4 wymiarach

- przestrzeń (s_i)
- czas (t)
- częstotliwość (f)
- kod (c)



□ Cel: wspólne wykorzystanie współdzielonego medium

□ Ważne: potrzebne przestrzenie ochronne!

Multipleksacja częstotliwościowa

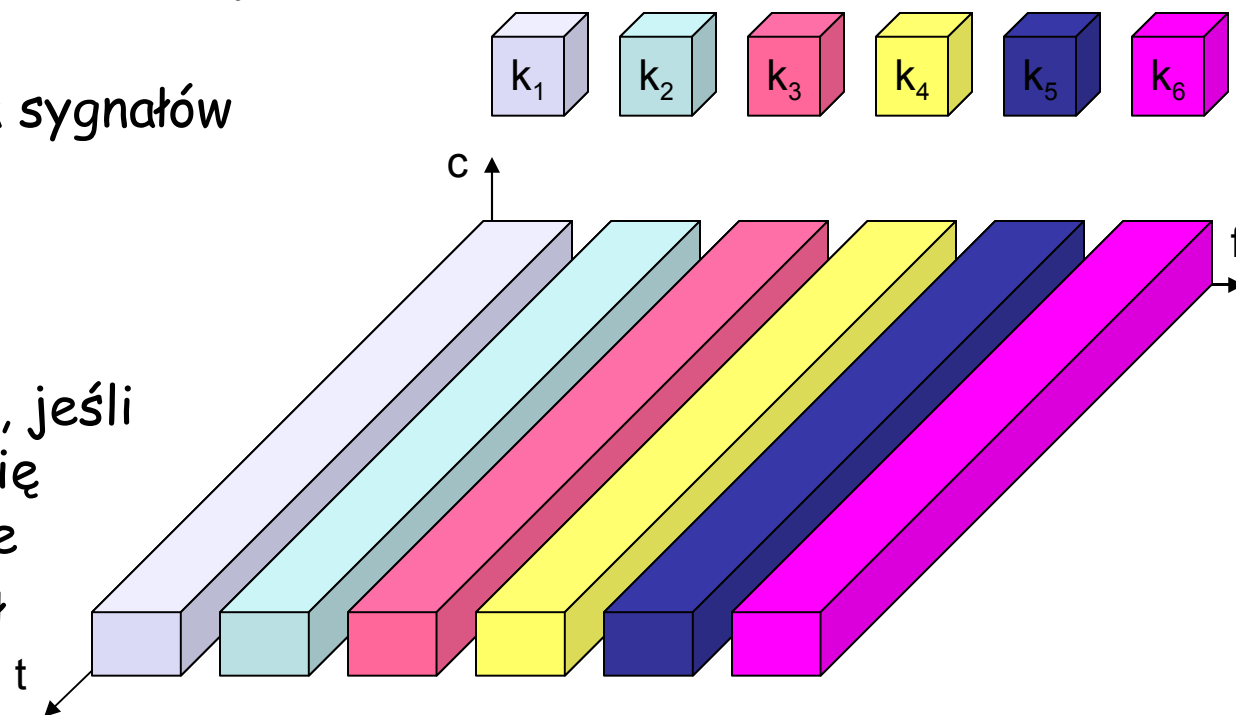


- ❑ Podział całego spektrum w mniejsze pasma częstotliwości
- ❑ Kanał otrzymuje pewne pasmo na czas komunikacji
- ❑ Zalety:

- nie potrzeba dynamicznej koordynacji
- działa także dla sygnałów analogowych

- ❑ Wady:

- marnowanie przepustowości, jeśli ruch rozkłada się nierównomiernie
- sztywny podział
- przestrzenie ochronne



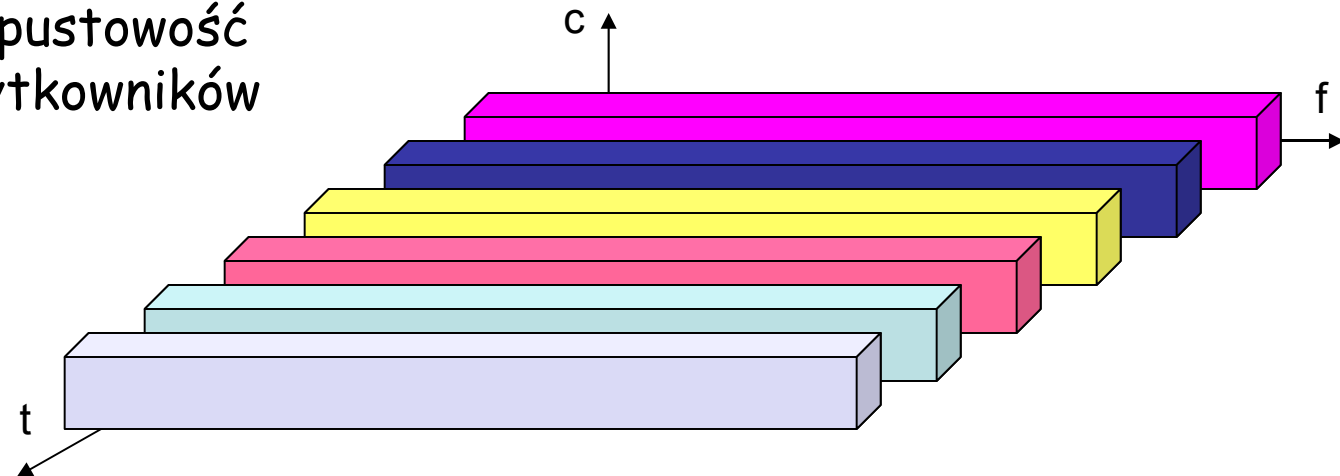
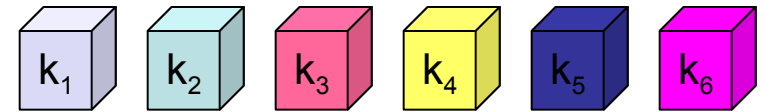
Multipleksacja czasowa



□ Kanał otrzymuje całe spektrum na pewien okres czasu

□ Zalety:

- tylko jeden nośnik w medium przez cały czas
- wysoka przepustowość dla wielu użytkowników



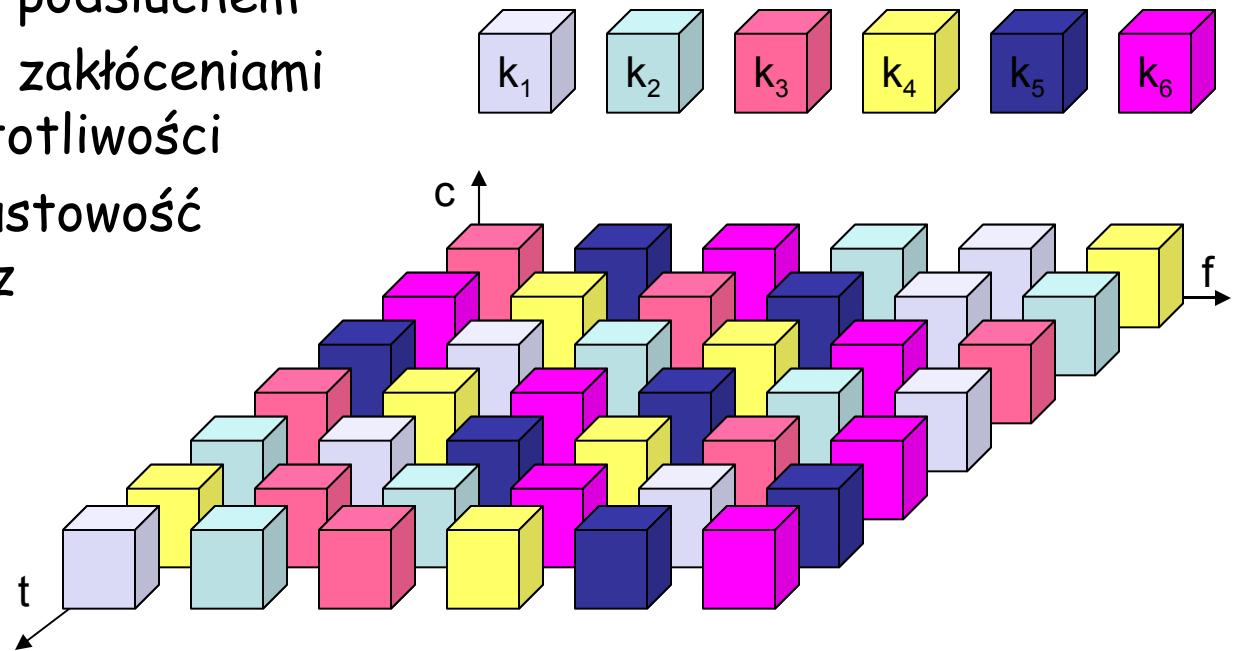
□ Wady:

- potrzebna precyzyjna synchronizacja

Multipleksacja czasowo-częstotliwościowa



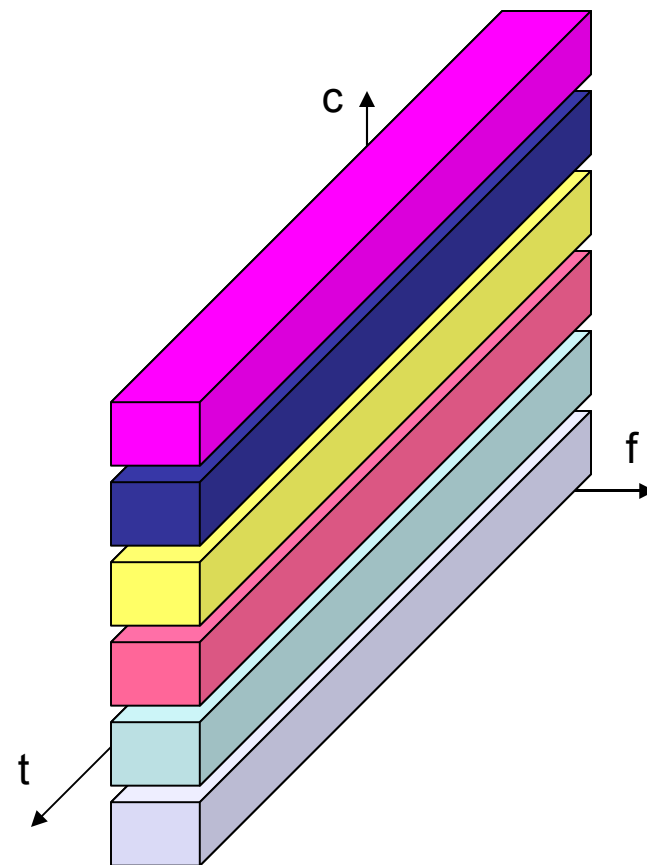
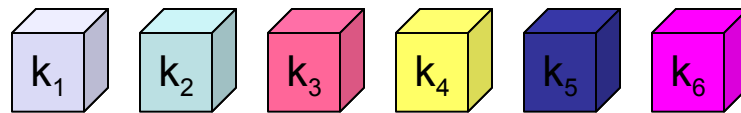
- ❑ Połączenie obu metod
- ❑ Kanał otrzymuje pewne pasmo na pewien okres czasu
- ❑ Przykład: *GSM*
- ❑ Zalety:
 - ochrona przed podsłuchem
 - ochrona przed zakłóceniami pewnych częstotliwości
 - wyższa przepustowość w porównaniu z mult. kodową
- ❑ ale: potrzebna precyzyjna koordynacja



Multipleksacja kodowa



- ❑ Każdy kanał ma niepowtarzalny kod
- ❑ Wszystkie kanały używają całego spektrum jednocześnie
- ❑ Zalety:
 - wydajne wykorzystanie przepustowości
 - nie potrzeba koordynacji ani synchronizacji
 - dobra ochrona przed zakłóceniami i podsłuchem
- ❑ Wady:
 - mniejsze przepustowości
 - bardziej złożona regeneracja



Modulacja



□ Modulacja cyfrowa

- Dane cyfrowe wysyłane sygnałem analogowym (podstawowe pasmo)
- ASK, FSK, PSK
- różnią się wydajnością częstotliwości, mocy, odpornością

□ Modulacja analogowa

- przesuwa centralną częstotliwość pasma podstawowego do częstotliwości sygnału nośnego

□ Cel

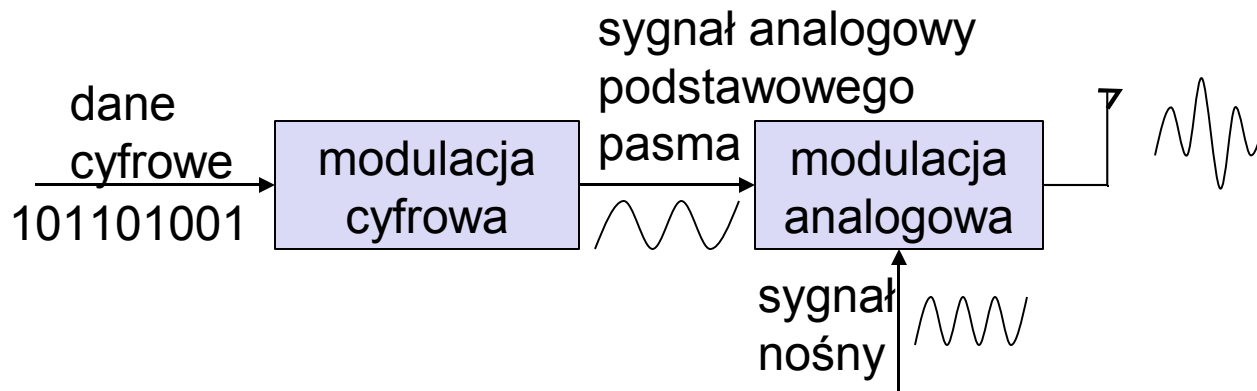
- mniejsze anteny (n.p., $\lambda/4$)
- Frequency Division Multiplexing
- charakterystyki medium

□ Metody

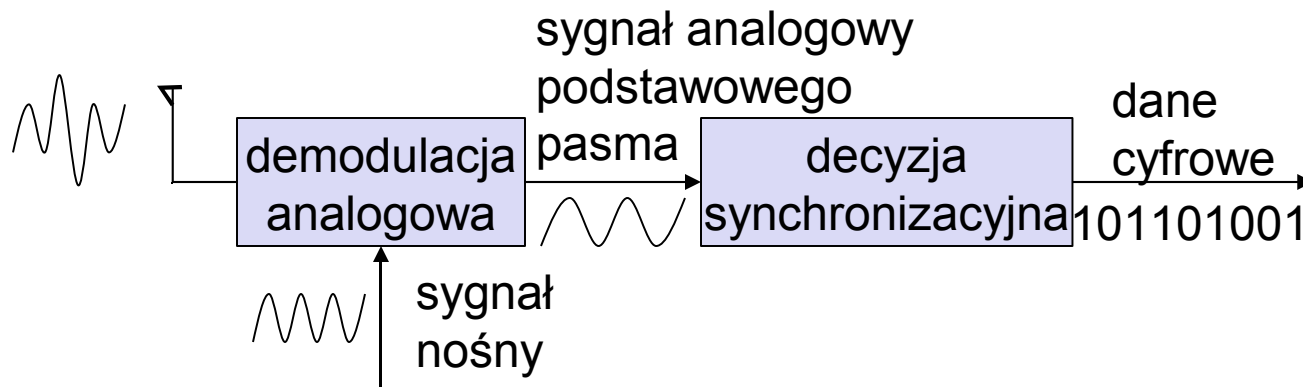
- Modulacja amplitudy (AM)
- Modulacja częstotliwości (FM)
- Modulacja fazy (PM)

SKO2

Modulacja i demodulacja



**nadajnik
radiowy**

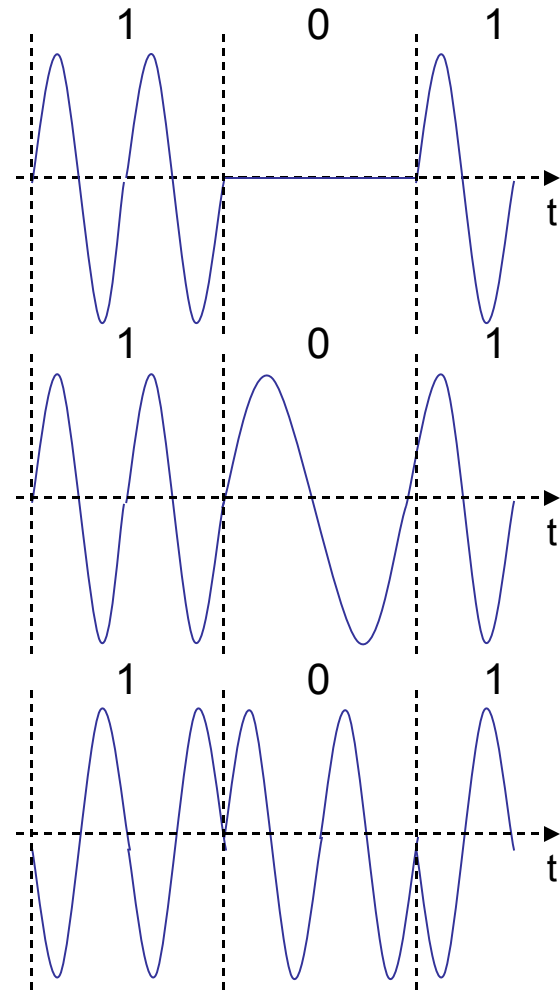


**odbiornik
radiowy**

Modulacja cyfrowa



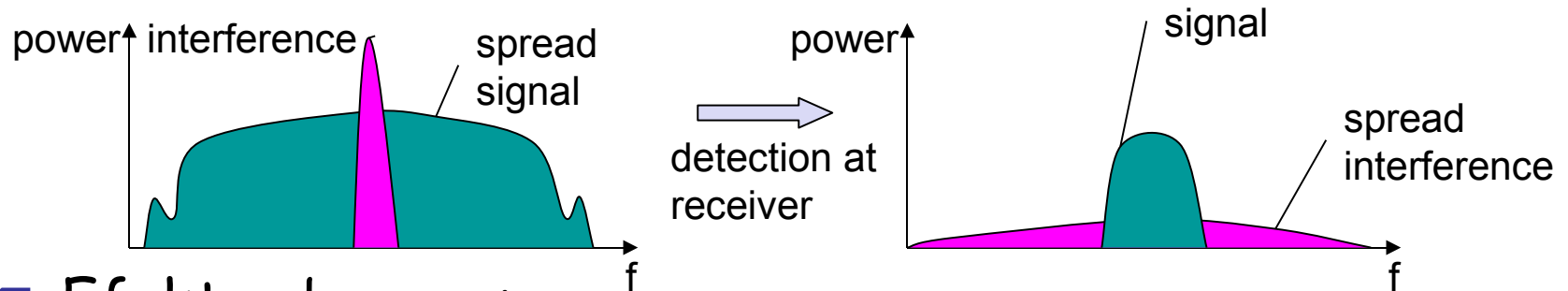
- Modulacja sygnałów cyfrowych zwana *Shift Keying*
- Amplitude Shift Keying (ASK):
 - bardzo prosta
 - wymaga małej przepustowości
 - bardzo wrażliwa na zakłócenia
- Frequency Shift Keying (FSK):
 - potrzebuje większego pasma
- Phase Shift Keying (PSK):
 - bardziej złożona
 - odporna na zakłócenia



Technologie rozszerzania pasma

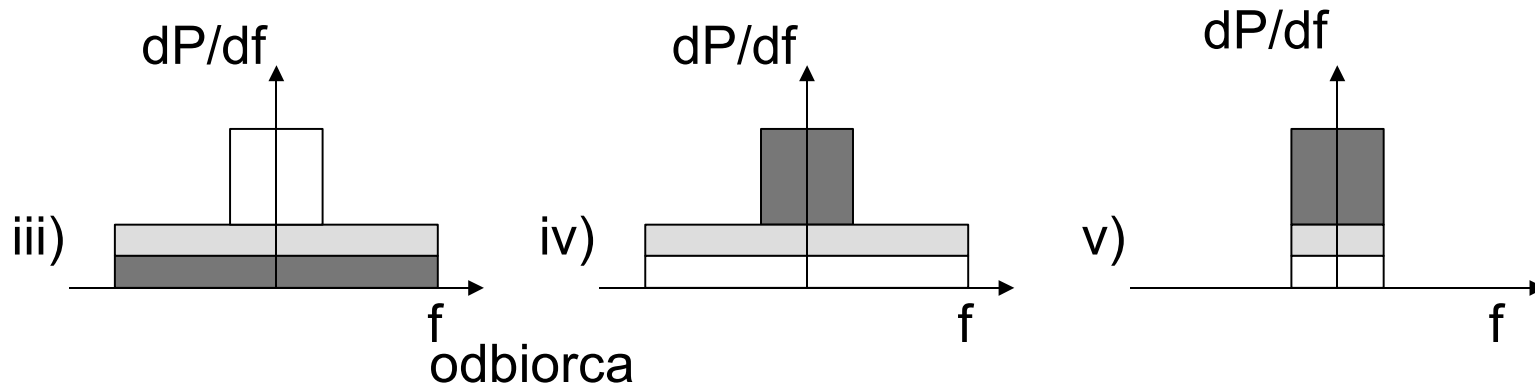
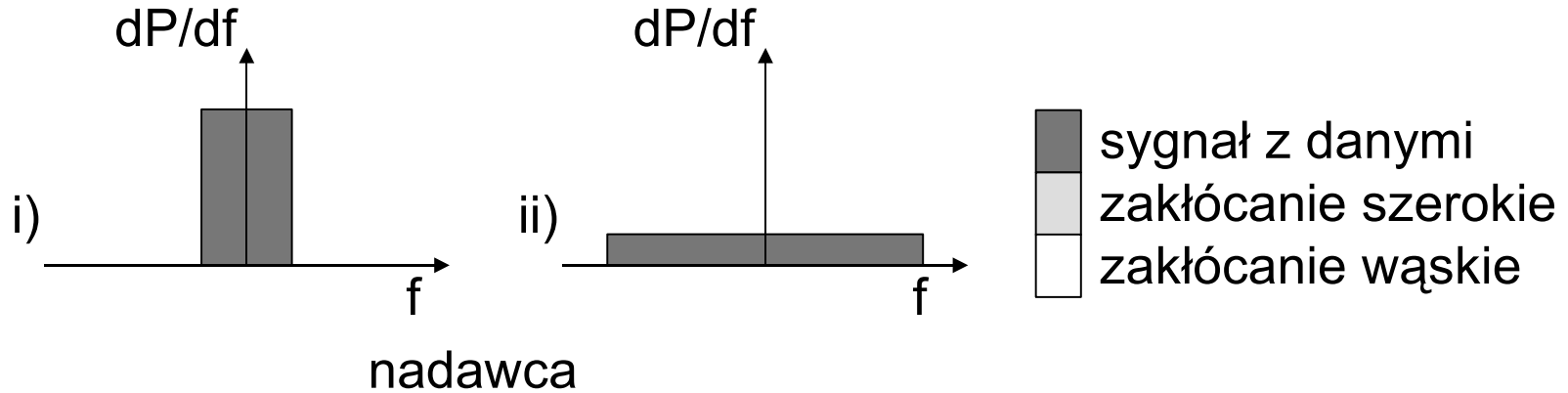


- ❑ Tłumienie zależne od częstotliwości może zakłócić sygnały w wąskim paśmie częstotliwości
- ❑ Rozwiązanie: rozszerzyć wąskie pasmo sygnału na szerokie pasmo, używając kodu

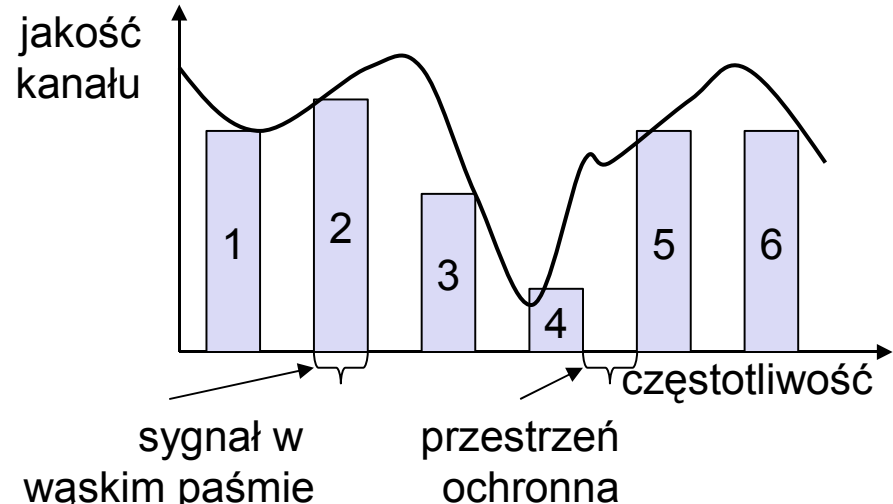


- ❑ Efekty uboczne:
 - współdzielenie pasma przez wiele sygnałów bez koordynacji
 - odporność na podsłuch
- ❑ Alternatywne metody: Direct Sequence, Frequency Hopping

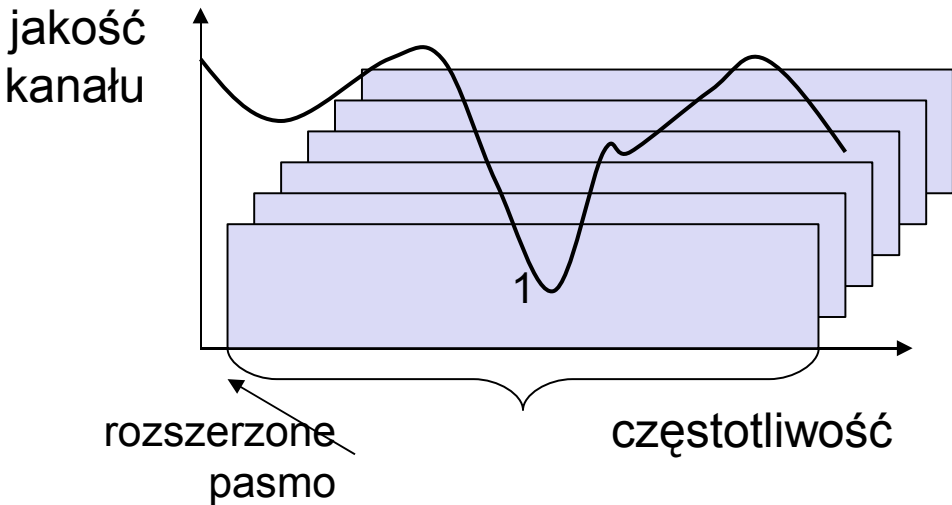
Efekty rozszerzania i zakłóceń



Rozszerzanie i tłumienie częstotliwościowe



kanały w wąskim paśmie



kanały w rozszerzonym paśmie

DSSS (Direct Sequence Spread Spectrum)

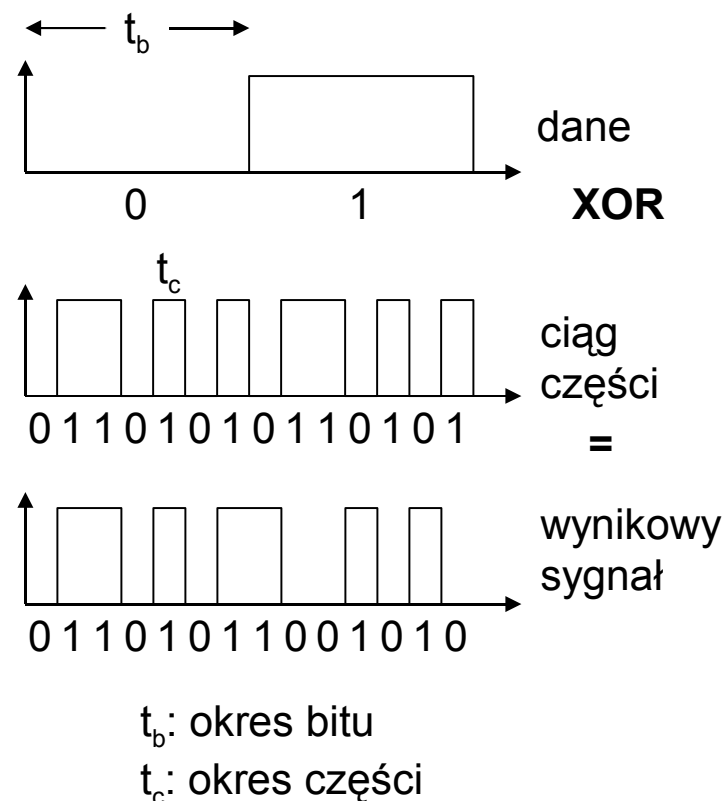
- XOR sygnału z pseudolosową liczbą
 - ciąg części (*chipping sequence*)
 - więcej części na 1 bit (n.p., 128) oznacza większą częstotliwość sygnału

□ Zalety

- zmniejsza tłumienie częstotliwościowe
- w sieciach komórkowych
 - stacje bazowe mogą używać tego samego pasma
 - wiele stacji bazowych może wykryć i odebrać sygnał
 - soft handover

□ Wady

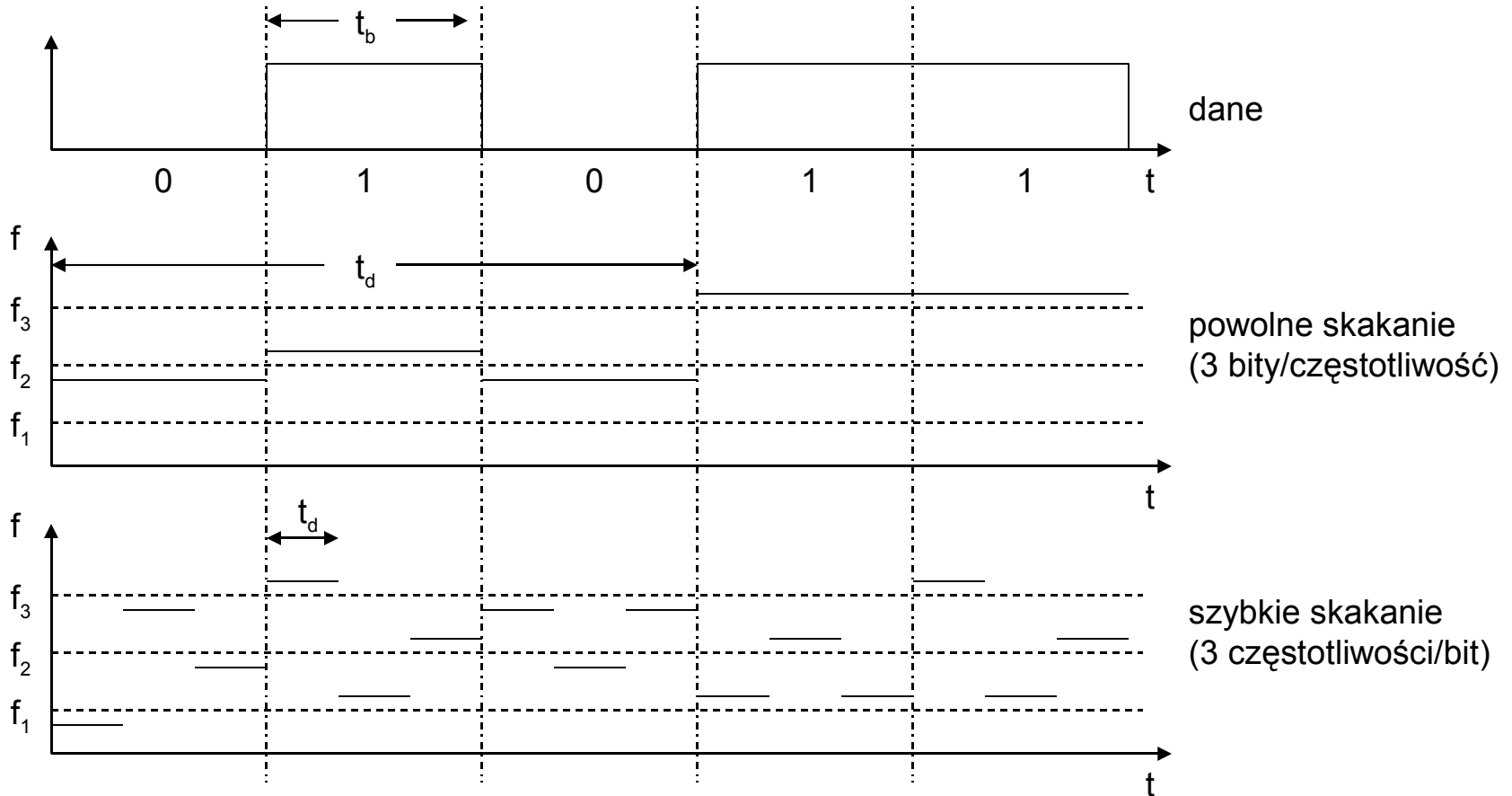
- potrzebne jest precyzyjne sterowanie mocą



FHSS (Frequency Hopping Spread Spectrum)

- Dyskretne zmiany częstotliwości nośnej
 - ciąg zmienianych częstotliwości jest pseudolosowy
- Dwie wersje
 - Szybkie skakanie:
kilka częstotliwości na 1 bit
 - Powolne skakanie:
kilka bitów na 1 częstotliwość
- Zalety
 - zakłócanie i tłumienie częstotliwościowe są ograniczone do krótkiego okresu czasu
 - prosta implementacja
 - w danej chwili, używa tylko małej części pasma
- Wady
 - nie tak odporne jak DSSS
 - prostsze do wykrycia

FHSS II



t_b : okres bitu

t_d : czas przebywania w paśmie

Struktura komórek



- ❑ Implementuje multipleksację przestrzenną: stacja bazowa obsługuje pewien obszar (komórkę)
- ❑ Urządzenia mobilne komunikują się tylko za pośrednictwem stacji bazowych
- ❑ Zalety struktury komórkowej:
 - zwiększenie zasobów, większa ilość użytkowników
 - zmniejszenie mocy transmisyjnej
 - bardziej odporne, mniej scentralizowane
 - stacja bazowa raszu zarządza zakłóceniami, obszarem transmisji itp. lokalnie

Struktura komórek



- Problemy:
 - przewodowa sieć potrzebna do łączenia stacji bazowych
 - przekazywanie (zmiana komórek) potrzebne
 - zakłócenia z innymi komórkami
- Rozmiary komórek: rzędu 100 m w miastach, n.p., 35 km na wsi (GSM) - dla wyższych częstotliwości muszą być mniejsze

Zwiększenie przepustowości w systemie komórkowym

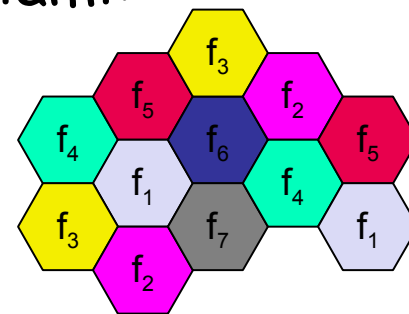


- Porównajmy: 1 silny nadajnik, obsługujący 35 kanałów głosowych na obszarze 100 km²
- Albo: 7 słabszych nadajników, które obsługują 12 kanałów każdy, na obszarze 14 km²
- Wtedy: Na tym samym obszarze jest dostępnych $7 \cdot 12 = 84$, zamiast 35 kanałów głosowych
- System obsługuje więcej połączeń. Koszt jednego nadajnika jest mniejszy. Większy koszt jest za to na rozstawienie nadajników (zakup lub wynajem lokalizacji)

Planowanie częstotliwości I

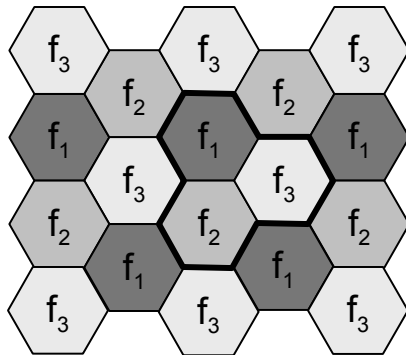


- Ponowne użycie częstotliwości tylko przy dostatecznej odległości między stacjami bazowymi
- Standardowy układ z 7 częstotliwościami:

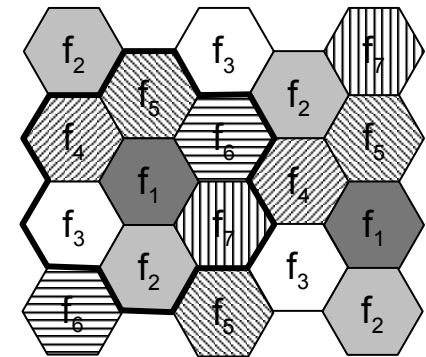


- Stałe przypisanie częstotliwości:
 - pewne częstotliwości są przypisane pewnym komórkom
 - problem: różne obciążenie ruchowe w różnych komórkach
- Dynamiczne przypisywanie częstotliwości:
 - stacja bazowa wybiera częstotliwości, zależnie od częstotliwości używanych przez sąsiednie komórki
 - więcej zasobów w komórkach, w których jest więcej ruchu
 - przypisanie może także posługiwać się pomiarami zakłóceń

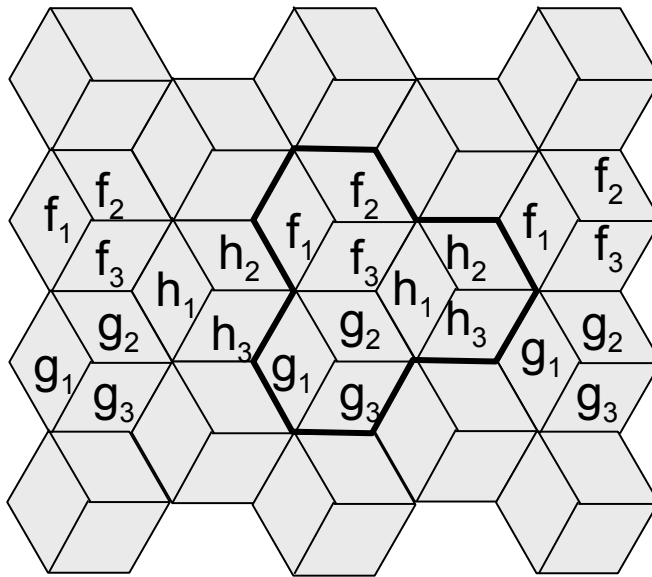
Planowanie częstotliwości II



Grona 3 komórek



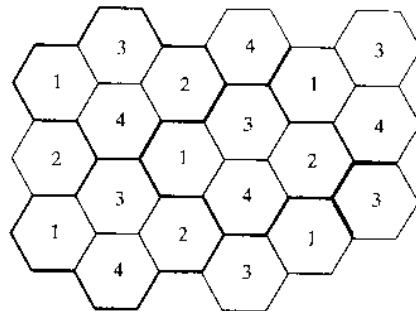
Grona 7 komórek



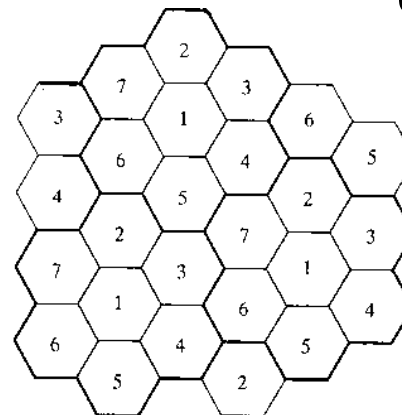
Grona 3 komórek
z anetami 3-sektorowymi

Planowanie częstotliwości III

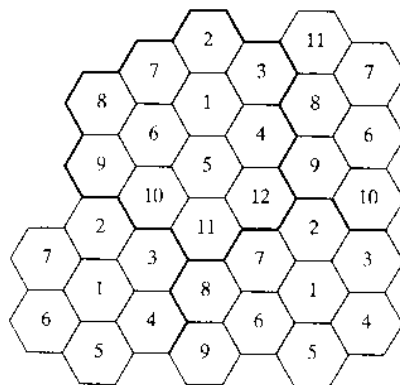
- Grona komórek ang. *cluster*



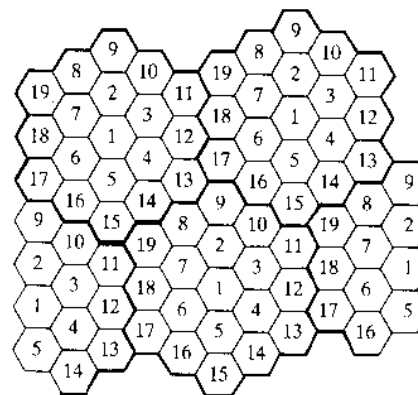
(a) $i = 2$ and $j = 0$



(b) $i = 1$ and $j = 2$



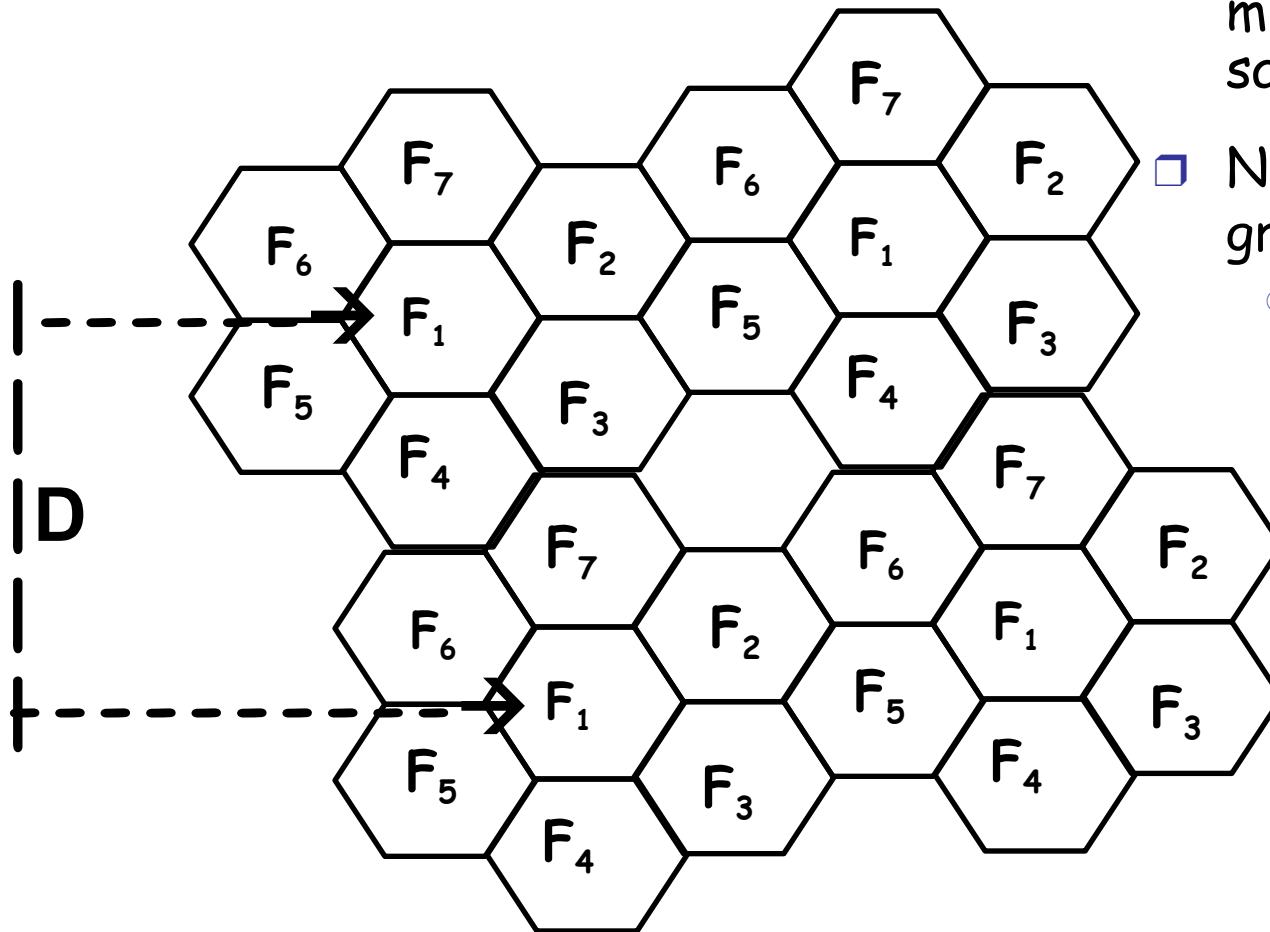
(c) $i = 2$ and $j = 2$



(d) $i = 2$ and $j = 3$

Figure Cell clusters

Planowanie częstotliwości IV



- D - minimalna odległość między komórkami o tej samej częstotliwości
- N - ilość komórek w gronie:
 - w każdej komórce jest dostępnych $1/N$ wszystkich częstotliwości
- R - promień komórki
- $D/R = \sqrt{3N}$

Planowanie częstotliwości V

- Załóżmy, że mamy 1001 kanałów radiowych, każda komórka ma 6 km², a cały system ma pokryć 2100 km².

- 1. Oblicz ilość kanałów w systemie, gdy rozmiar grona jest $N=7$
- 2. Ile razy trzeba powtórzyć grono rozmiaru $N=4$, żeby pokryć cały obszar?
- 3. Oblicz ilość kanałów w systemie, gdy rozmiar grona jest $N=4$.
- 4. Czy zmniejszenie rozmiaru grona zwiększyło ilość kanałów?

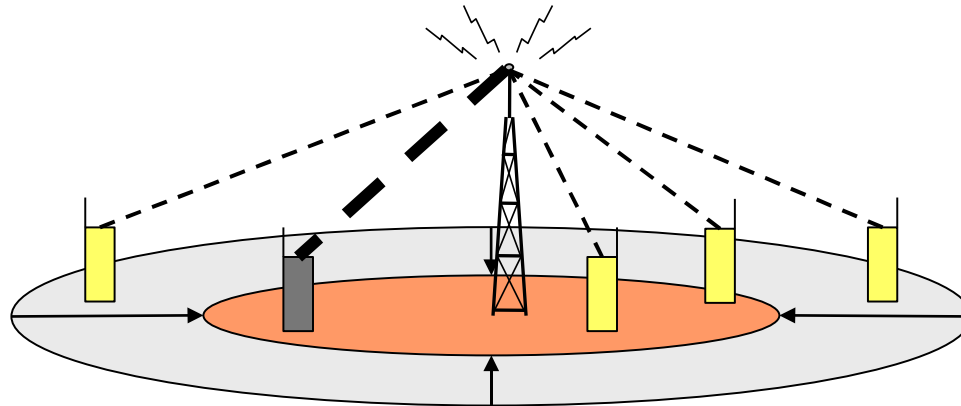
□ Rozwiązanie:

- 1. $J = 1001/N = 143$, $M = 2100/(6*N) = 50$, $C = M*J*N = 50050$ kanałów
- 2. $N = 4 \rightarrow M = 2100/(6*N) = 87$
- 3. $N = 4 \rightarrow J = 1001/4 = 250$ kanałów w komórce. $C = M*J*N = 87000$
- 4. TAK! Zmniejszenie N z 7 do 4 zwiększyło C z 50050 do 87000 kanałów.



Oddychanie komórek

- ❑ Systemy CDM: rozmiar komórki zależy od obciążenia ruchowego
- ❑ Dodatkowy ruch to zakłócenia dla pozostałych użytkowników
- ❑ Gdy zakłócenia są za duże, użytkownicy wypadają z komórek



Mapa wykładu

- ❑ Wprowadzenie
 - Dlaczego mobilność?
 - Rynek dla mobilnych urządzeń
 - Dziedziny badań
- ❑ Transmisja radiowa
- ❑ Protokoły wielodostępowe
- ❑ Systemy GSM
- ❑ Systemy satelitarne
- ❑ Bezprzewodowe sieci lokalne

Motywacja



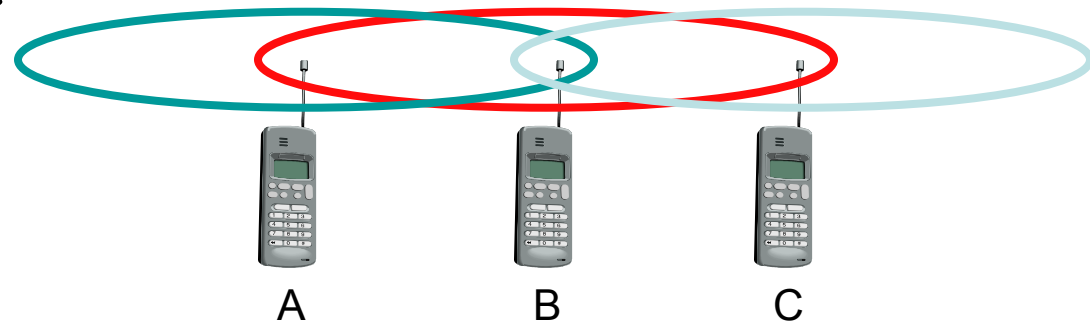
- ❑ Czy da się zastosować protokoły wielodostępowe rodem z sieci przewodowych?
- ❑ Przykład CSMA/CD
 - **C**arrier **S**ense **M**ultiple **A**ccess / **C**ollision **D**etection
 - wysyłać, gdy tylko medium jest wolne, nasłuchiwać w celu wykrywania kolizji (IEEE 802.3)
- ❑ Problemy w sieciach bezprzewodowych
 - zanik mocy sygnału proporcjonalnie do kwadratu odległości
 - nadawca chce zastosować CS oraz CD, ale kolizje następują u odbiorcy
 - może się zdarzyć, że nadawca nie "słyszy" kolizji, czyli CD nie zawsze działa
 - w dodatku, CS też może nie działać jeśli, n.p., urządzenie jest "ukryte"

Ukryte i widoczne urządzenia



□ Ukryte terminale

- A wysyła do B, C nie odbiera od A
- C chce wysłać do B, C wyczuwa "wolne" medium (CS nie działa)
- kolizja u B, A nie wykrywa kolizja (CD nie działa)
- A jest "ukryty" dla C



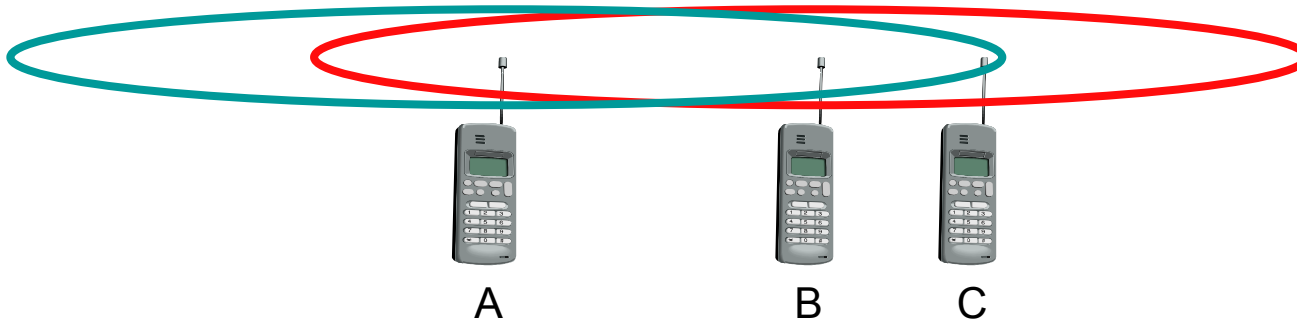
□ Widoczne terminale

- B wysyła do A, C chce wysłać do innego terminala (nie A ani B)
- C musi czekać, CS wskazuje, że medium jest używane
- lecz A jest poza zasięgiem C, zatem czekanie nie jest potrzebne
- C jest "widoczny" dla B SKO2

Bliskie i dalekie terminale



- Terminale A i B wysyłają, C odbiera
 - moc sygnału maleje proporcjonalnie do kwadratu odległości
 - sygnał terminalu B zagłusza sygnał terminalu A
 - C nie odbiera sygnału A



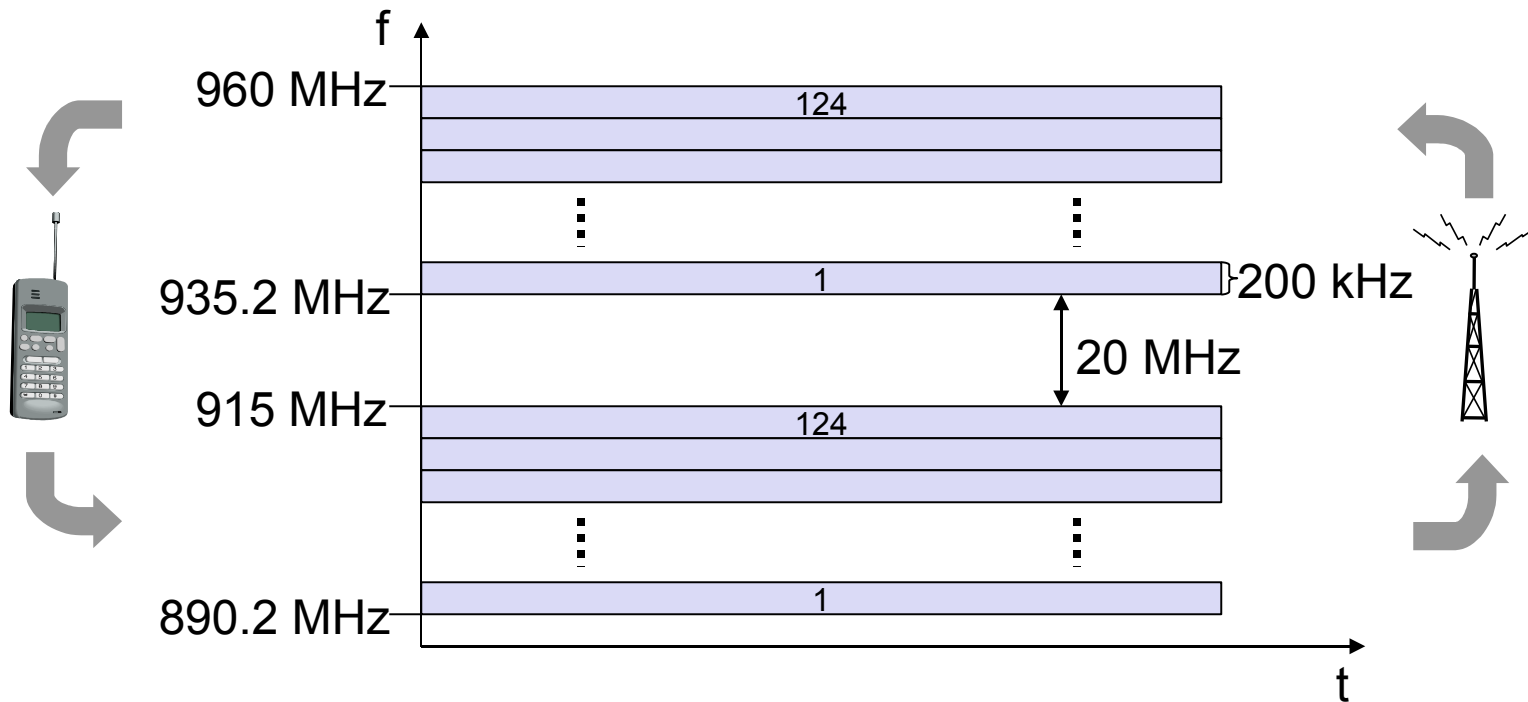
- Jeśli, n.p., C jest koordynatorem protokołu wielodostępowego, B zagłuszy terminal A całkowicie
- Problem istotny dla sieci CDMA
 - potrzebna precyzyjna kontrola mocy

Multipleksacje SDMA/FDMA/TDMA

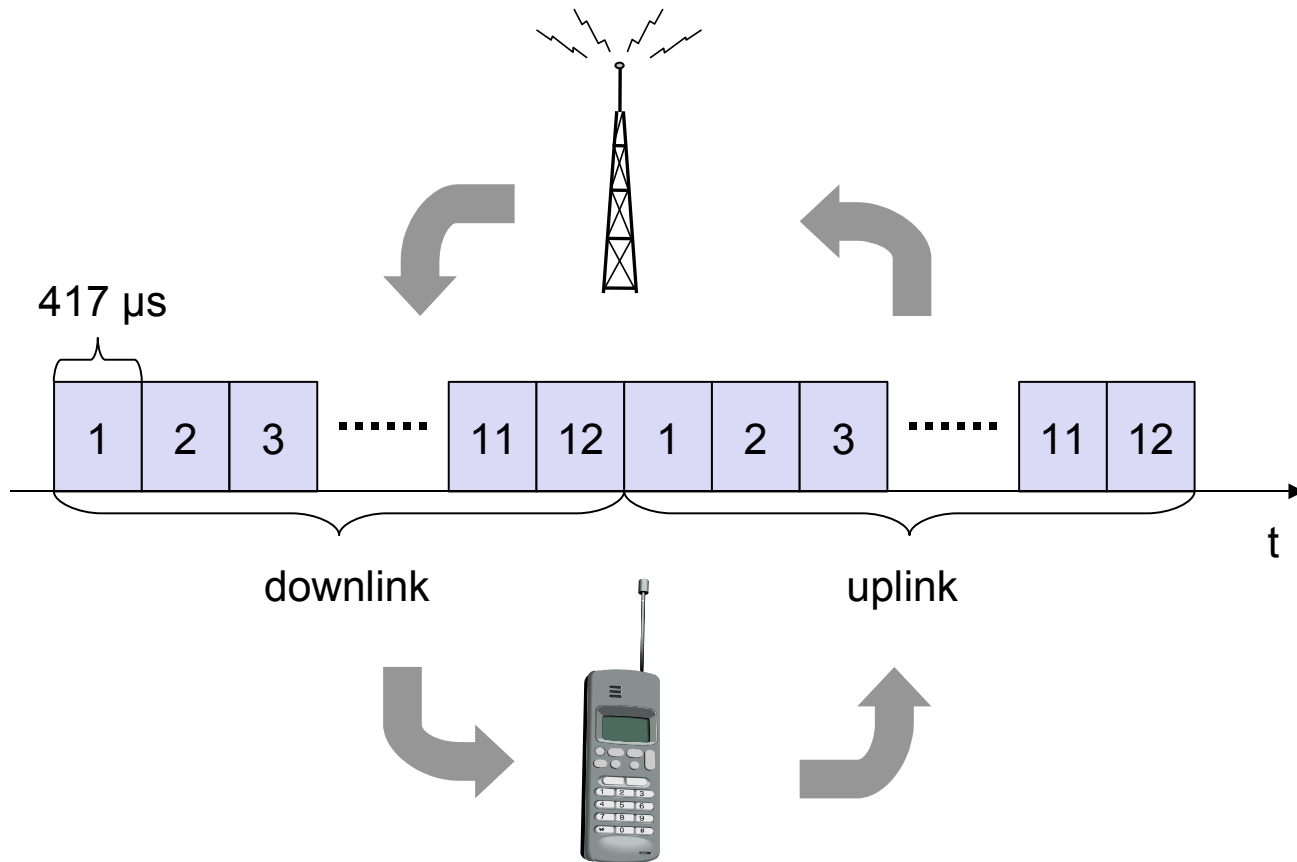


- ❑ SDMA (Space Division Multiple Access)
 - podział przestrzeni na sektory, użycie anten kierunkowych
 - struktura komórkowa
- ❑ FDMA (Frequency Division Multiple Access)
 - kanał komunikacyjny otrzymuje pewną częstotliwość
 - stałe (n.p., rozgłaszanie radiowe), powoli zmienne (n.p., GSM), szybko zmienne (FHSS, Frequency Hopping Spread Spectrum)
- ❑ TDMA (Time Division Multiple Access)
 - kanał otrzymuje pewną częstotliwość na określony okres czasu
- ❑ Multipleksacja wymaga także protokołów wielodostępowych!

FDD/FDMA - przykład: GSM



TDD/TDMA - przykład: DECT

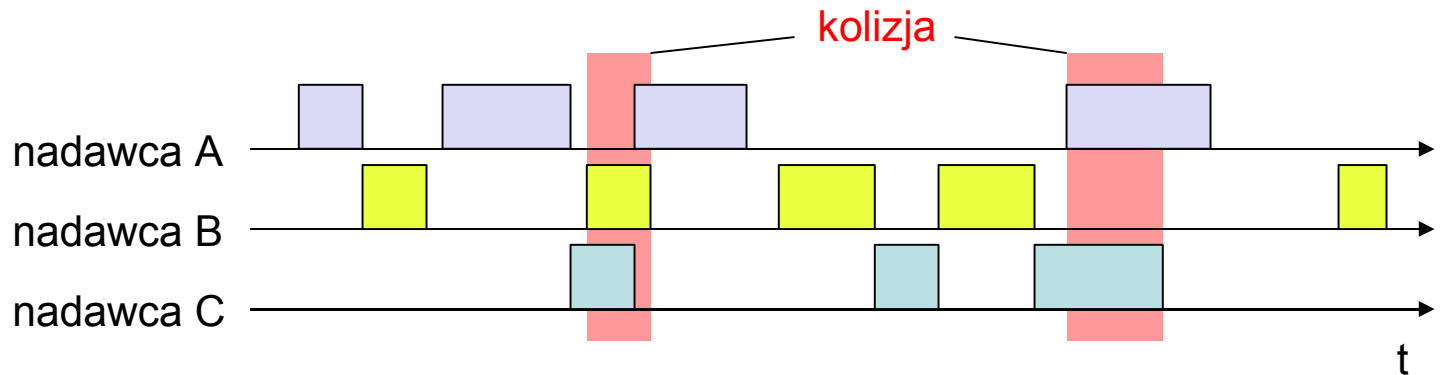


Aloha/slotted aloha

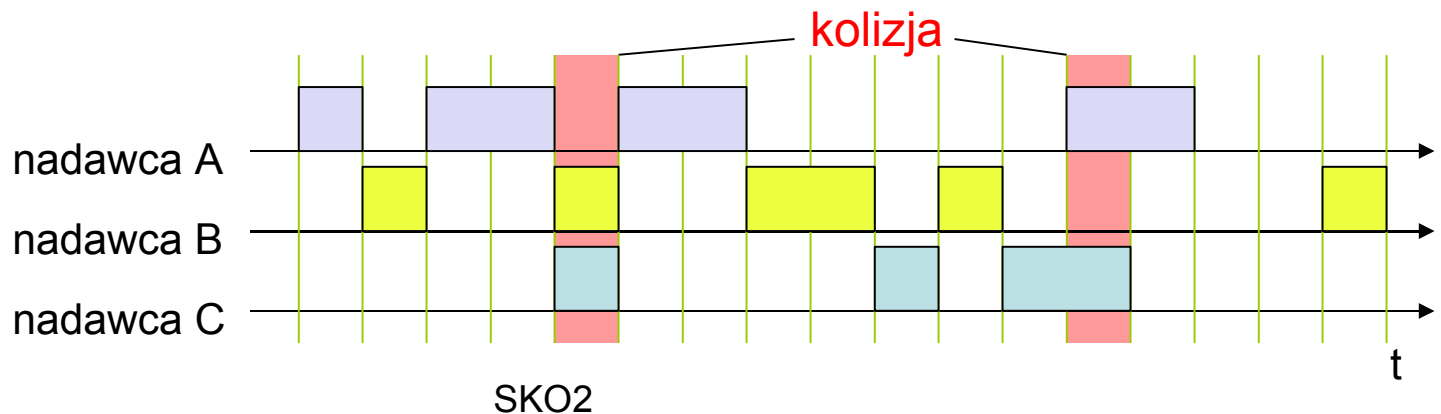


- losowa, rozprzozona (bez koordynatora) multipleksacja czasowa
- Slotted Aloha dodatkowo używa szczelin, wysyłanie musi się rozpoczynać na początku szczeliny czasowej
- Wydajność kanału tylko 18% dla Aloha, 36% dla Slotted Aloha

□ Aloha



□ Slotted Aloha



DAMA - Demand Assigned Multiple Access



- Rezerwacje mogą zwiększyć wydajność do 80%
 - nadawca rezerwuje przyszłą szczelinę czasową
 - nadawanie w tej szczelinie jest możliwe bez kolizji
 - rezerwacje mogą powodować wyższe opóźnienia
 - podejście typowe dla łącz satelitarnych

- Przykłady algorytmów z rezerwacjami:
 - *Explicit Reservation according to Roberts (Reservation-ALOHA)*
 - *Implicit Reservation (PRMA)*
 - *Reservation-TDMA*

DAMA - przykład: Explicit Reservation

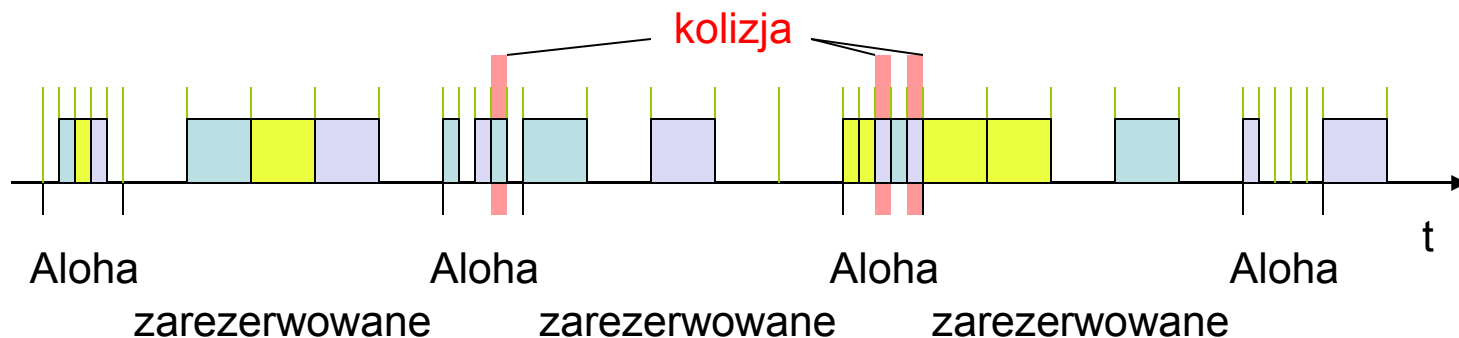


□ Explicit Reservation (Reservation Aloha):

○ dwa tryby:

- tryb *ALOHA* dla rezerwacji:
konkurencja o małe szczeliny rezerwujące, możliwe kolizje
- tryb zarezerwowany dla transmisji danych w
zarezerwowanych szczelinach (bez kolizji)

- wszystkie stacje muszą utrzymywać spójność list rezerwacji w dowolnej chwili, i dlatego stacje muszą się synchronizować

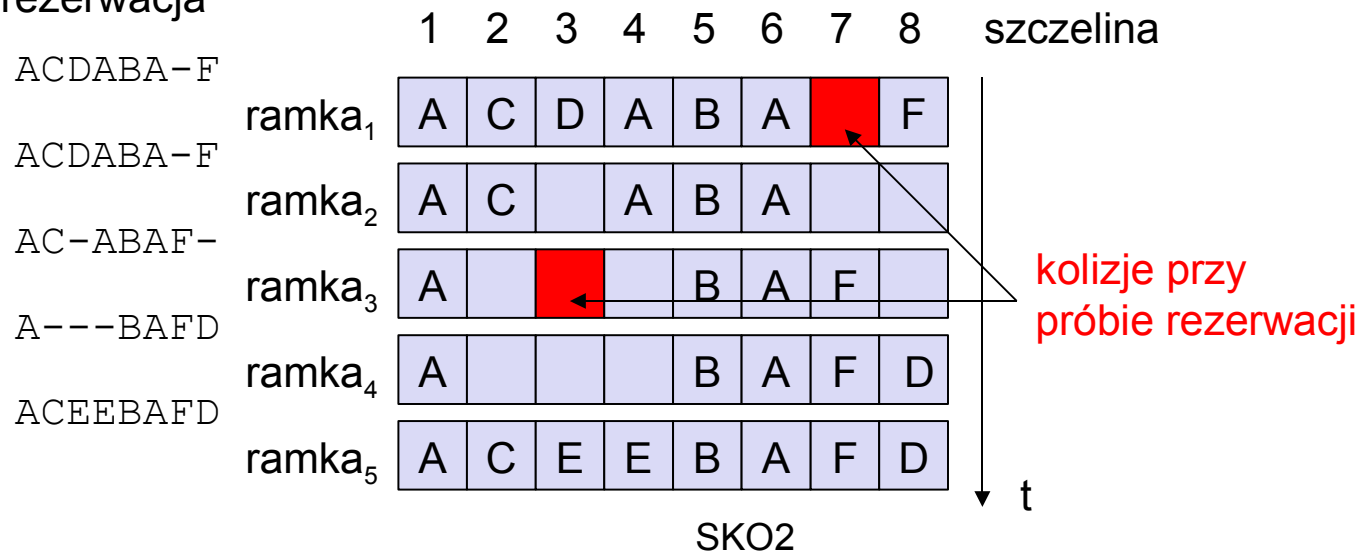


DAMA - przykład: PRMA



- Rezerwacja domyślna (PRMA - Packet Reservation MA):
 - pewna ilość szczelin tworzy ramkę, ramki się powtarzają
 - stacje konkurują o puste szczeliny stosując Slotted Aloha
 - gdy stacja zarezerwuje szczelinę, automatycznie otrzymuje szczelinę we wszystkich następnych ramkach, tak długo jak ma dane do wystania
 - konkurencja o tę szczelinę rozpocznie się znowu, jak tylko pozostanie pusta w jednej z ramek

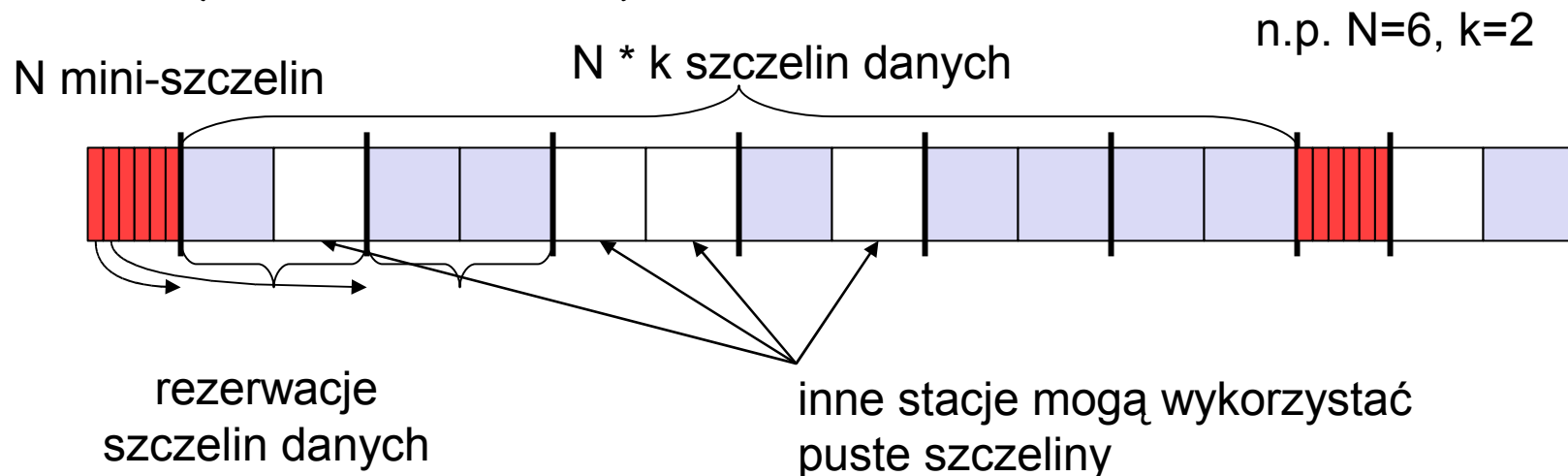
rezerwacja



DAMA - przykład: Reservation-TDMA

□ Reservation Time Division Multiple Access

- każda ramka składa się z N mini-szczelin i x szczelin danych
- każda stacja ma własną mini-szczelinę i może rezerwować do k ramek danych używając tej mini-szczeliny (tzn. $x = N * k$).
- inne stacje mogą wysyłać dane w niewykorzystanych szczelinach według kolejności round-robin (ruch best-effort)



MACA - unikanie kolizji



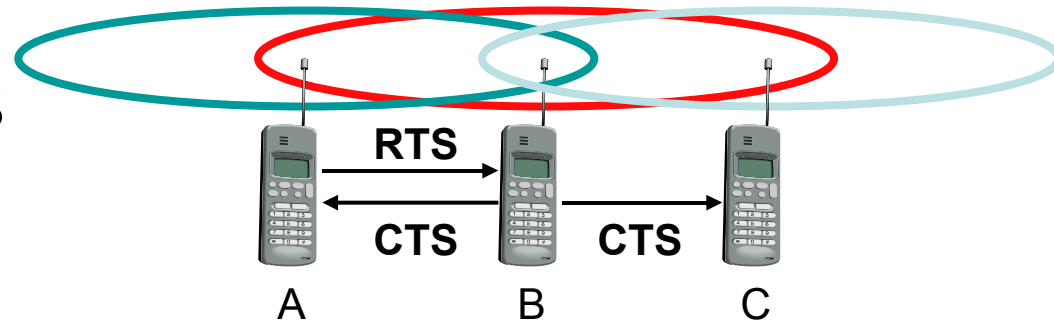
- *MACA (Multiple Access with Collision Avoidance)* używa krótkich pakietów sygnalizacyjnych dla unikania kolizji
 - *RTS (request to send)*: nadawca prosi odbiorcę o prawo do nadawania wysyłając krótki pakiet RTS przed pakietem danych
 - *CTS (clear to send)*: odbiorca zezwala na wysyłanie gdy jest gotowy do odbioru
- Pakiety sygnalizacyjne zawierają
 - adres nadawcy
 - adres odbiorcy
 - rozmiar pakietu
- Wariant tej metody stosowany w IEEE 802.11
DFWMAC (Distributed Foundation Wireless MAC)

Przykłady MACA



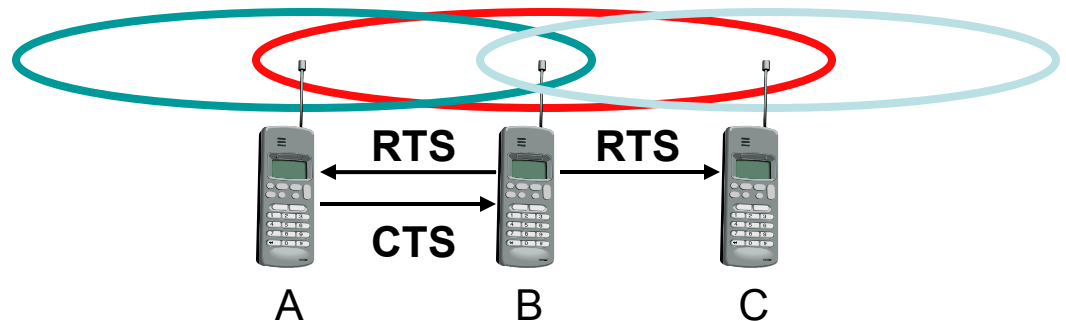
□ MACA unika problemu ukrytych terminali

- A i C chcą wysłać do B
- A pierwszy wysyła RTS
- C czeka po CTS od B



□ MACA unika problemu widocznych terminali

- B chce wysłać do A, C do innego terminala
- teraz C nie musi czekać, bo nie otrzyma CTS od A



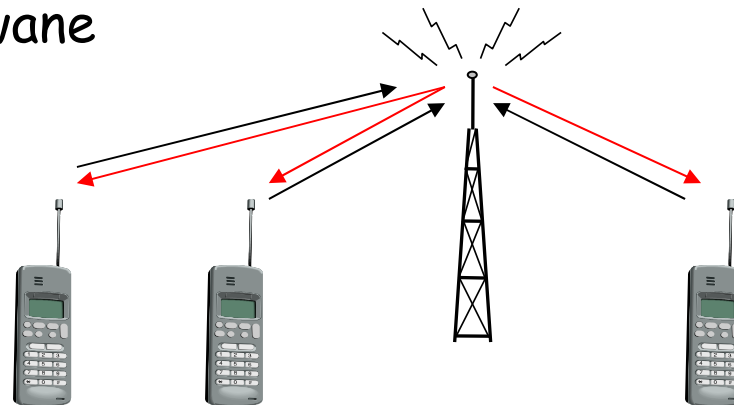
Mechanizmy odpytywania



- Jeśli jeden terminal jest w zasięgu wszystkich pozostałych (n.p. stacja bazowa) może odpytywać pozostałe według pewnego algorytmu
- Przykład: *Randomly Addressed Polling*
 - stacja bazowa sygnalizuje gotowość wszystkim terminalom
 - terminale gotowe do nadawania wysyłają losową liczbę bez kolizji, za pomocą CDMA lub FDMA (losowa liczba jest dynamicznym adresem)
 - stacja bazowa wybiera jeden adres do odpytywania z listy wszystkich adresów (kolizja, jeśli dwa terminale wybiorą ten sam adres)
 - stacja bazowa potwierdza poprawny pakiet i kontynuuje odpytywanie następnego terminala
 - cykl powtarza się po odpytaniu wszystkich terminali

ISMA (Inhibit Sense Multiple Access)

- Aktualny stan medium jest sygnalizowany przez "sygnał zajętości"
 - stacja bazowa sygnalizuje na łączy "downlink" (od stacji do terminali) czy medium jest wolne
 - terminale nie mogą wysyłać, jeśli medium jest zajęte
 - terminale mogą wysyłać, gdy ustanie "sygnał zajętości"
 - stacja bazowa sygnalizuje kolizje lub poprawne transmisje za pomocą sygnału zajętości lub potwierdzeń (dostęp do mediów nie jest koordynowany)
 - mechanizm jest stosowany, n.p., w CDPD (USA, zintegrowane z AMPS)



SKO2

Mobilne-41

CDMA



□ CDMA (Code Division Multiple Access)

- wszystkie terminale wysyłają na tej samej częstotliwości, prawdopodobnie w tym samym czasie, i mogą używać całej przepustowości kanału
- każdy nadawca ma niepowtarzalny, losowy numer, i oblicza XOR sygnału z tym numerem
- odbiorca może "dostroić się" do sygnału jeśli zna numer, dostrajanie się odbywa się przez funkcję korelacji

CDMA



□ Wady:

- większa złożoność odbiorcy (odbiorca nie może po prostu słuchać medium i odbierać, gdy pojawi się sygnał)
- wszystkie sygnały powinny mieć tę samą moc u odbiorcy

□ Zalety:

- wszystkie terminale używają tej samej częstotliwości
- duża przestrzeń kodów (n.p. 2^{32}) w porównaniu do częstotliwości
- zakłócenia (n.p. biały szum) nie są kodowane
- łatwo użyć szyfrowania i kodów nadmiarowych

Teoria CDMA



□ Nadawca A

- wysyła $A_d = 1$, klucz $A_k = 010011$ (uwaga: „0”= -1, „1”= +1)
- sygnał: $A_s = A_d * A_k = (-1, +1, -1, -1, +1, +1)$

□ Nadawca B

- wysyła $B_d = 0$, klucz $B_k = 110101$
- sygnał $B_s = B_d * B_k = (-1, -1, +1, -1, +1, -1)$

□ Oba sygnały nakładają się na siebie

- ignorujemy na razie zakłócenia
- $A_s + B_s = (-2, 0, 0, -2, +2, 0)$

Teoria CDMA



□ Odbiorca chce odebrać sygnał od A

- używa klucza A_k bitowo (iloczyn wektorowy)

- $A_e = (-2, 0, 0, -2, +2, 0) \bullet A_k = 2 + 0 + 0 + 2 + 2 + 0 = 6$

- wynik większy niż 0, zatem oryginalny bit to było „1”

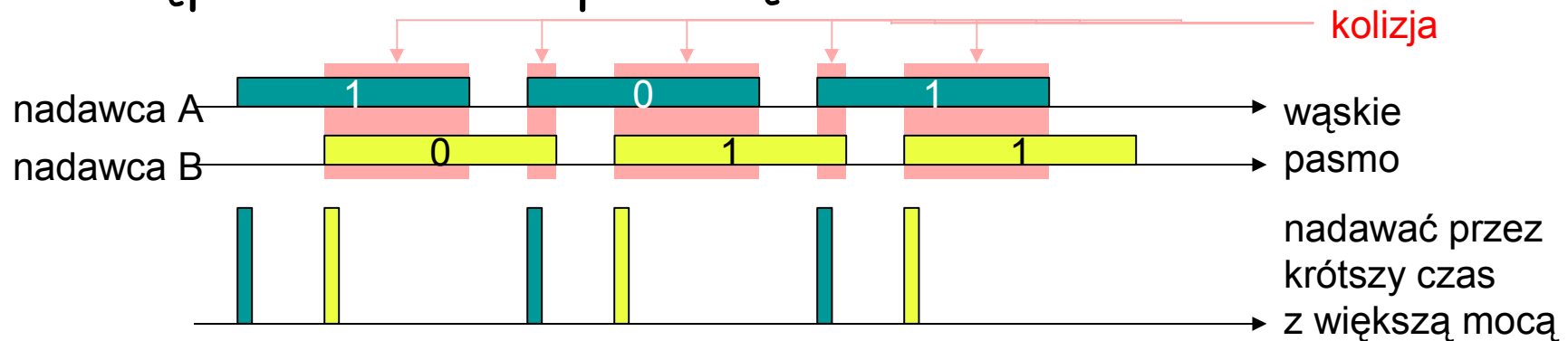
- odbierając od B

- $B_e = (-2, 0, 0, -2, +2, 0) \bullet B_k = -2 + 0 + 0 - 2 - 2 + 0 = -6$,
czyli „0”

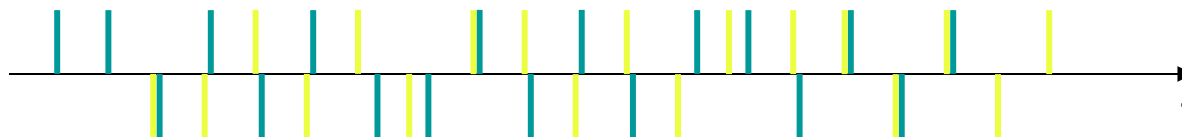
SAMA - Spread Aloha Multiple Access



- Aloha ma bardzo małą wydajność, CDMA potrzebuje złożonych odbiorników żeby odbierać od różnych nadawców z różnymi kodami w tym samym czasie
- **Pomysł:** używać tylko jednego kodu (*chipping sequence*) dla wszystkich nadawców, którzy mają dostęp do kanału za pomocą Aloha



rozdzielić sygnał za pomocą kodu, n.p. 110101 („CDMA bez CD“)



Problem: znalezienie dobrego kodu

SKO2

Porównanie SDMA/TDMA/FDMA/CDMA

Metoda	SDMA	TDMA	FDMA	CDMA
Idea	podział przestrzeni na komórki / sektory	podział czasu na rozłączne szczeliny, wzór ustalony lub zależny od ruchu	podział pasma częstotliwości na rozłączne mniejsze pasma	Podział za pomocą ortogonalnych kodów
Terminale	tylko jeden terminal może nadawać w jednej komórce / sektorze	wszystkie terminale są aktywne w krótkich szczelinach czasu na tej samej częstotliwości	każdy terminal ma własną częstotliwość przez cały czas	wszystkie terminale mogą nadawać w tym samym miejscu, tym samym czasie i częstotliwości
Oddzielanie sygnałów	struktura komórkowa, anteny kierunkowe	synchronizacja w czasie	filtrowanie według częstotliwości	kod i specjalny odbiornik
Zalety	bardzo proste, zwiększa ilość użytkowników /km ²	znane, w pełni cyfrowe, elastyczne	proste, znane, odporne	elastyczne, zużywa mniej częstotliwości, miękkie przekazywanie

Porównanie SDMA/TDMA/FDMA/CDMA



Metoda	SDMA	TDMA	FDMA	CDMA
Wady	nie jest elastyczne, anteny zwykle są nieruchome	potrzebuje przestrzeni ochronnych (propagacja wielościeżkowa), trudna synchronizacja	nie jest elastyczne, częstotliwości są rzadkim zasobem	złożone odbiorniki, potrzeba skomplikowanego sterowania mocą nadawcy
Komentarz	użyteczne tylko w połączeniu z TDMA, FDMA lub CDMA	standard w sieciach przewodowych, używane razem z FDMA/SDMA w wielu sieciach mobilnych	zwykle łączone z TDMA (skakanie po częstotliwościach) i SDMA (ponowne wykorzystanie częstotliwości)	wciąż są problemy, większa złożoność, mniejsze oczekiwania; integrowane z TDMA/FDMA

Mapa wykładu

- ❑ Wprowadzenie
 - Dlaczego mobilność?
 - Rynek dla mobilnych urządzeń
 - Dziedziny badań
- ❑ Transmisja radiowa
- ❑ Protokoły wielodostępowe
- ❑ *Systemy GSM*
- ❑ Systemy satelitarne
- ❑ Bezprzewodowe sieci lokalne