

# PTB - Pytania do kolokwium 2

Hrycenko Wojciech

28 grudnia 2022

## Spis treści

<b>1 Zadanie 1</b>	<b>5</b>
1.1 Proszę krótko scharakteryzować trzy techniki rozpraszania widma. Proszę wskazać w jakich systemach stosowane są dwie z nich. . . . .	5
1.1.1 Przeskoki częstotliwości nośnej (FHSS - Frequency Hopping Spread Spectrum) .	5
1.1.2 Przeskoki w czasie (THSS – Time Hopping Spread Spectrum) . . . . .	5
1.1.3 Rozpraszanie bezpośrednie (DS – Direct Spread, DSSS – Direct Sequence Spread Spectrum) . . . . .	6
1.2 Dlaczego w systemach CDMA możliwe jest rozróżnienie (w odbiorniku) informacji kierowanych do różnych odbiorców, mimo, że nadawane są w tym samym pasmie, w tym samym czasie i z tej samej anteny nadawczej? . . . . .	7
<b>2 Zadanie 2</b>	<b>7</b>
2.1 Od czego (i jak) zależy pojemność (liczba jednoczesnych użytkowników) w jednokomórkowym idealnym systemie CDMA (w wersji najprostszej omawianej na wykładzie) – proszę podać zależność . . . . .	7
2.2 Proszę skomentować zależność między pojemnością a jakością odbioru. . . . .	7
2.3 Jakie czynniki powodują, że w warunkach rzeczywistych pojemność może być większa (lub mniejsza) od określonej powyższą zależnością? . . . . .	8
<b>3 Zadanie 3</b>	<b>8</b>
3.1 Na podstawie zadanej przepływności danych użytkownika (po kodowaniu kanałowym) obliczyć dla zadanej modulacji: przybliżoną szerokość pasma sygnału w łączu radiowym (jeśli znany jest współczynnik rozpraszania) lub - wartość współczynnika rozpraszania (jeśli jest znana szerokość pasma w łączu radiowym). . . . .	8
3.1.1 Jeśli znany jest współczynnik rozpraszania . . . . .	8
3.1.2 Jeśli znana jest szerokość pasma w łączu radiowym . . . . .	9
<b>4 Zadanie 4</b>	<b>9</b>
4.1 Jeśli znane są parametry nadawanego sygnału (np. czas trwania 1 symbolu danych użytkownika, rodzaj modulacji i czas trwania 1 bitu ciągu rozpraszającego) obliczyć wartość $E_c/I_0$ zapewniającą uzyskanie na wyjściu korelatora w odbiorniku zadanej wartości $E_b/I_0$ .	9
4.2 Jak zmieni się (ile razy lub o ile dB) wartość $E_b/I_0$ jeśli moc nadawanego sygnału (danych użytkownika) wzrośnie .... razy. . . . .	10
4.3 Jak zmieni się (ile razy lub o ile dB) wartość $E_b/I_0$ jeśli przepływność danych użytkownika zmniejszy się .... razy (zakładamy, że szerokość pasma sygnału w łączu radiowym nie ulegnie zmianie)? . . . . .	10
<b>5 Zadanie 5</b>	<b>10</b>
5.1 Obliczyć pojemność (liczbę jednoczesnych użytkowników) w jednokomórkowym systemie CDMA (w wersji najprostszej omawianej na wykładzie) jeśli dane są współczynnik rozpraszania i wymagana wartość $E_b/I_0$ (na wyjściu korelatora w odbiorniku). Wykonać obliczenia pojemności w przypadku, gdy współczynnik rozpraszania nie jest podany wprost (trzeba wyznaczyć go znając np. szerokość pasma emisji, rodzaj modulacji i przepływność danych użytkownika). . . . .	10

5.1.1	Podany wprost współczynnik rozpraszania . . . . .	10
5.1.2	Nie podany wprost współczynnik rozpraszania . . . . .	10
<b>6</b>	<b>Zadanie 6</b>	<b>11</b>
6.1	W łączu w dół systemu UMTS (FDD) jest wykorzystywany ciąg rozpraszający (np. 1,-1,-1,1,1,-1,1 ). Wiedząc, że dane użytkownika zostały wcześniej zakodowane ze sprawnością ..... (np. 1/3) podać przepływność danych użytkownika ..... [kb/s]. . . . .	11
6.2	Proszę przydzielić ..... ciągi rozpraszające (OVSF) umożliwiające jednoczesną transmisję informacji do innych użytkowników z ..... razy większymi (ew. mniejszymi) przepływnościami (przy tej samej sprawności kodowania kanałowego)..... . . . .	12
<b>7</b>	<b>Zadanie 7</b>	<b>12</b>
7.1	W pewnym systemie z modulacją OFDM wytworzono sygnał, którego widmo składa się z ... (np. 500) podnośnych. W jaki sposób to uzyskano korzystając tylko z 1 nadajnika? . . . . .	12
7.2	Proszę narysować i krótko omówić etapy przetwarzania sygnału danych użytkownika w nadajniku . . . . .	13
<b>8</b>	<b>Zadanie 8</b>	<b>13</b>
8.1	Proszę krótko omówić podstawowe zalety transmisji z wykorzystaniem sygnału OFDM (w porównaniu z emisjami w systemie CDMA przy podobnej przepływności danych użytkownika). . . . .	13
8.2	Co to jest współczynnik PAPR, czy z punktu widzenia konstruktora nadajnika OFDM korzystne są małe czy duże wartości PAPR? Dlaczego? . . . . .	14
8.3	W sieci telewizji cyfrowej (DVB-T) kilka nadajników rozmieszczonych w sąsiednich powiatach może nadawać ten sam multiplex programów w tym samym kanale radiowym; jednoczesny odbiór z dwóch (kilku) nadajników pracujących w tym samym kanale jest możliwy pod warunkiem spełnienia dwóch istotnych wymagań: ..... . . . .	14
<b>9</b>	<b>Zadanie 9</b>	<b>14</b>
9.1	W pewnym sygnale OFDM czas trwania 1 symbolu wynosi ..... [ $\mu s$ ], z czego 20% (lub 10%, lub 12,5%, lub 5% ) stanowi odstęp ochronny. Odstęp między najbliższymi podnośnymi wynosi: ..... [kHz], a przepływność symbolowa (brutto) w przeliczeniu na jedną podnośną ..... [ksymb/s]. Aby łączna przepływność symbolowa (na wszystkich podnośnych) wynosiła ..... [Msymb/s] podnośnych powinno być co najmniej....., szerokość pasma sygnału wynosiłaby wtedy ok. ....[MHz] . . . . .	14
<b>10</b>	<b>Zadanie 10</b>	<b>15</b>
10.1	W pewnym systemie wykorzystującym sygnały OFDM łączna przepływność danych użytkownika powinna wynieść ..... (np.2 [Mb/s]). W systemie tym istnieje propagacja wielodrogowa, w której maksymalna różnica dróg propagacji wynosi ..... (np.200 m). Proszę tak dobrać podstawowe parametry emisji (czas $T_{ort}$ , odstęp modulacji $T_{sOFDM}$ , odstęp między podnośnymi $\Delta f$ , liczbę podnośnych N i rodzaj modulacji, by uzyskać zakładaną przepływność danych użytkownika i by współczynnik odstępu ochronnego był nie mniejszy od $\frac{1}{8}$ i nie większy od $\frac{1}{4}$ . . . . .	15
<b>11</b>	<b>Zadanie 11</b>	<b>16</b>
11.1	W nadajniku systemu OFDM wykorzystano 1024-punktowe odwrotne przekształcenie Fouriera. Odstęp między podnośnymi wynosi ..... (np. 5 kHz) i nie wykorzystuje się 24 skrajnych podnośnych, Każdą z pozostałych podnośnych zmodulowano wykorzystując modulację ..... (np. 16 QAM). Gdyby zrezygnowano z odstępu ochronnego przepływność bitową przypadającą na 1 podnośną można byłoby oszacować na ..... [kb/s] a całkowite pasmo emisji na ..... [MHz]. Gdyby jednak wprowadzono odstęp ochronny (przedrostek cykliczny) „1/4” przepływność całkowita (dla wszystkich podnośnych wyniosłaby ok. ....[kb/s] . . . .	16

<b>12 Zadanie 12</b>	<b>17</b>
12.1 Załóżmy, że w łączu systemu LTE pracującego w pasmie o szerokości ..... [MHz] zastosowano modulację ..... (np. QPSK, 16QAM...) i normalne odstępochronne. Łączna przepływność transmisji (brutto) wynosi ok. .... [Mb/s]. Ilu użytkowników można obsłużyć w czasie 0,2 s (proszę podać wartość maksymalną zakładając w uproszczeniu, że nie są przesyłane sygnały pomocnicze) ..... Przepływność danych tego użytkownika wyniesie ..... [kb/s] . . . . .	17
<b>13 Zadanie 13</b>	<b>18</b>
13.1 Proszę wymienić wersje techniki MIMO . . . . .	18
13.2 Wyjaśnić ideę transmisji z formowaną wiązką (beamforming). . . . .	18
13.3 Jak może być zastosowanie tego typu transmisji. . . . .	19
13.4 Dlaczego jest to rozwiązanie atrakcyjne. . . . .	20
13.5 Czy jest możliwa obsługa za pomocą beamformingu kilku odbiorników? . . . . .	20
<b>14 Zadanie 14</b>	<b>20</b>
14.1 Proszę wymienić wersje techniki MIMO. . . . .	20
14.2 Wyjaśnić ideę transmisji z multipleksacją przestrzenną (spatial multiplexing). . . . .	20
14.3 Jak może być zastosowanie tego typu transmisji? . . . . .	20
14.4 Dlaczego jest to rozwiązanie atrakcyjne? . . . . .	20
14.5 Czy jest możliwa obsługa za pomocą tej techniki kilku odbiorników? . . . . .	20
<b>15 Zadanie 15</b>	<b>21</b>
15.1 Proszę przedstawić klasyfikację systemów ze względu na liczbę użytych anten. . . . .	21
15.2 Proszę zdefiniować pojęcie odbioru zbiorczego. . . . .	21
15.3 Jak wpływa odbiór zbiorczy na charakterystyki bitowej stopy błędów w funkcji wartości $E_b/N_0$ ? . . . . .	21
<b>16 Zadanie 16</b>	<b>22</b>
16.1 Na przykładzie kodu Alamoutiego proszę wyjaśnić ideę techniki STBC (Space Time Block Codes). . . . .	22
16.2 Jakie zalety wynikają z jej wykorzystania? . . . . .	23
16.3 Co stanowi wadę tego rozwiązania? . . . . .	23
<b>17 Zadanie 17</b>	<b>23</b>
17.1 Co rozumiemy pod pojęciem CSI (Channel State Information)? . . . . .	23
17.2 Jaką rolę odgrywa informacja o stanie kanału w procesie transmisji? Czy znajomość tej informacji w nadajniku pozwala na poprawę jakości transmisji? Odpowiedź proszę uzasadnić. . . . .	24
<b>18 Zadanie 18</b>	<b>24</b>
18.1 Jaka zależność może być użyta do wyznaczenia pojemności w kanale radiowym SISO? . . . . .	24
18.2 Jak zmienia się pojemność kanału w przypadkach nadawania i odbioru zbiorczego i multipleksacji przestrzennej? Jaka wpływa na pojemność liczba anten? . . . . .	24
<b>19 Zadanie 19</b>	<b>25</b>
19.1 Proszę wskazać podobieństwa i różnice pomiędzy systemami LTE-M i NB-IoT. . . . .	25
19.1.1 Podobieństwa pomiędzy systemami LTE-M i NB-IoT . . . . .	25
19.1.2 Różnice pomiędzy systemami LTE-M i NB-IoT . . . . .	25
19.2 Proszę wyjaśnić pojęcia PSM i DRX. W jakim celu są one stosowane w komórkowych systemach internetu rzeczy? . . . . .	26
19.2.1 Pojęcia PSM i DRX . . . . .	26
19.2.2 W jakim celu są one stosowane w komórkowych systemach internetu rzeczy? . . . . .	27

<b>20 Zadanie 20</b>	<b>27</b>
20.1 Proszę opisać techniki wykorzystane w komórkowych systemach internetu rzeczy LTE-M i NB-IoT w celu zwiększenia zasięgu transmisji i ograniczenia poboru energii. . . . .	27
20.1.1 Techniki zwiększenia zasięgu . . . . .	27
20.1.2 Techniki ograniczenia poboru energii . . . . .	28

# 1 Zadanie 1

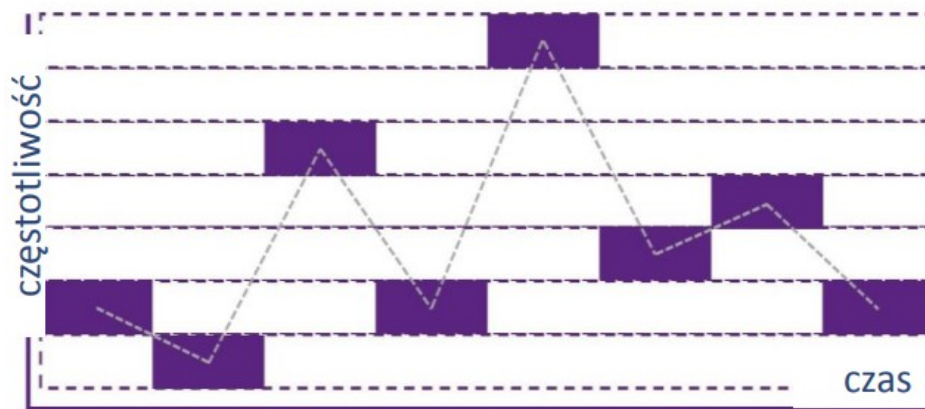
**1.1 Proszę krótko scharakteryzować trzy techniki rozpraszania widma. Proszę wskazać w jakich systemach stosowane są dwie z nich.**

**1.1.1 Przeskoki częstotliwości nośnej (FHSS - Frequency Hopping Spread Spectrum)**

- transmisja na różnych częstotliwościach nośnych
- sekwencja skoków powinna być znana w odbiorniku
- ochrona przed nieuprawnionym odczytem
- ochrona przed celowym zakłócaniem
- wersje "szybka" i "wolna"

Zastosowania:

- specjalne
- Bluetooth
- WLAN (802.11)
- GSM (FH - nieobligatoryjnie)
- LoRa (ściślej CSS - Chirp Spread Spectrum)



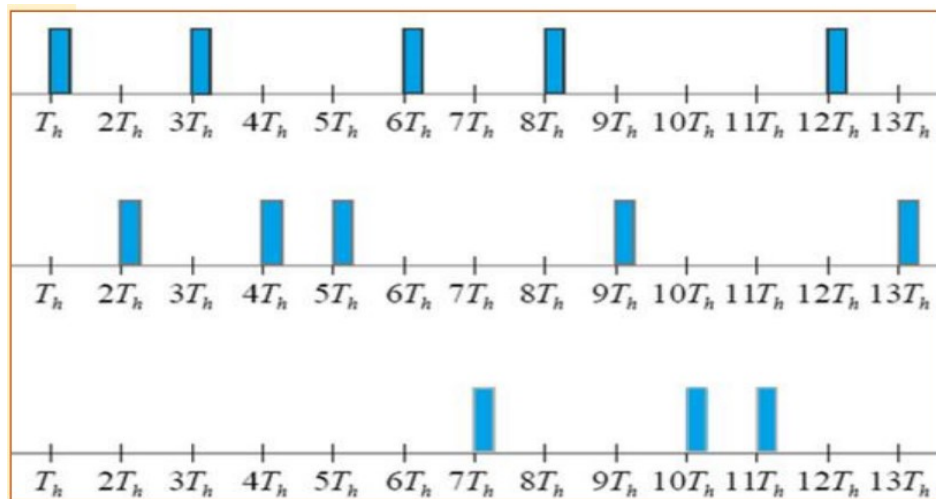
Rysunek 1

**1.1.2 Przeskoki w czasie (THSS – Time Hopping Spread Spectrum)**

- zmodulowany ciąg danych przesyłany w wybranych momentach (szczelinach czasowych)
- sekwencja skoków powinna być znana w odbiorniku
- ochrona przed nieuprawnionym odczytem
- ochrona przed celowym zakłócaniem

Zastosowania:

- specjalne



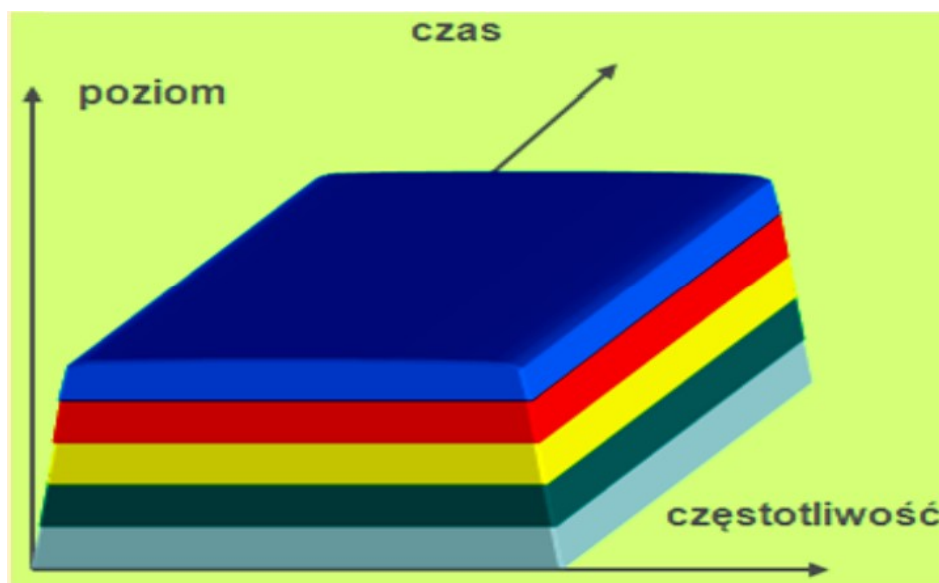
Rysunek 2

### 1.1.3 Rozpraszanie bezpośrednie (DS – Direct Spread, DSSS – Direct Sequence Spread Spectrum )

- ciąg informacyjny (przeznaczony dla odbiorcy) jest wymnażany przez szybkozmienny ciąg pseudolosowy (rozpraszający), w efekcie uzyskuje się szybkozmienny ciąg wynikowy
- możliwość jednoczesnego nadawania informacji przeznaczonych dla różnych odbiorców (w tym samy kanale radiowym i w tym samym czasie), pod warunkiem zastosowania różnych ciągów rozpraszających - wielodostęp kodowy (CDMA)

Zastosowania:

- specjalne
- sieci komórkowe cdmaOne i cdma2000
- WLAN (802.11b, 802.11g)
- GPS
- Systemy komórkowe trzeciej generacji (UMTS)



Rysunek 3

## 1.2 Dlaczego w systemach CDMA możliwe jest rozróżnienie (w odbiorniku) informacji kierowanych do różnych odbiorców, mimo, że nadawane są w tym samym pasmie, w tym samym czasie i z tej samej anteny nadawczej?

W wielodostępnie CDMA każdy z użytkowników ma przypisaną osobną sekwencję rozpraszającą. Sekwencje są zazwyczaj dobrane w taki sposób by cechowały się niską korelacją wzajemną co pozwala na efektywne skupienie jedynie sygnału nadawanego przez jednego z użytkowników. Użytkownik dzięki korelatorowi synchronizuje sekwencję rozpraszającą odpowiadającego mu sygnału nadawczego.

## 2 Zadanie 2

### 2.1 Od czego (i jak) zależy pojemność (liczba jednoczesnych użytkowników) w jednokomórkowym idealnym systemie CDMA (w wersji najprostszej omawianej na wykładzie) – proszę podać zależność

$$K = 1 + \frac{G_p}{\frac{E_b}{I_0}}$$

Gdzie:

- $K$  - liczba stacji ruchomych
- $G_p$  (SF) - współczynnik rozpraszania
- $E_b$  - energia na 1 bit informacji na wyjściu korelatora
- $I_0$  - gęstość widmowa zakłóceń

### 2.2 Proszę skomentować zależność między pojemnością a jakością odbioru.

W systemie CDMA zmniejszenie wymaganej jakości skutkuje wzrostem liczby obsługiwanych użytkowników. czyli w systemie CDMA możliwa jest dynamiczna wymiana pojemność - jakość

## 2.3 Jakie czynniki powodują, że w warunkach rzeczywistych pojemność może być większa (lub mniejsza) od określonej powyższą zależnością?

Przyczyny obniżające pojemność w rzeczywistości:

- regulacja mocy nigdy nie jest idealna (błędy regulacji mocy stacji ruchomych, powodują zwiększenie względnego poziomu zakłóceń wewnątrzsystemowych) – spadek pojemności nawet o kilkadziesiąt procent
- z sąsiednich komórek przenikają zakłócenia sąsiedniokomórkowe (o ile wykorzystywany jest ten sam kanał radiowy) – spadek nawet o kilkadziesiąt procent

Przyczyny zwiększające pojemność w rzeczywistości:

- wyłączanie nadawania w czasie nieaktywności głosowej (ocenia się, że dotyczy to od  $\frac{1}{2}$  do  $\frac{5}{8}$  stacji) – wzrost nawet ponad dwukrotny
- sektoryzacja komórek (zastosowanie anten sektorowych zmniejsza poziom zakłóceń) – krotność wzrostu nieco mniejsza od liczby sektorów – wzrost np. 2,5-krotny przy 3 sektorach

## 3 Zadanie 3

3.1 Na podstawie zadanej przepływności danych użytkownika (po kodowaniu kanałowym) obliczyć dla zadanej modulacji: przybliżoną szerokość pasma sygnału w łączu radiowym (jeśli znany jest współczynnik rozpraszania) lub - wartość współczynnika rozpraszania (jeśli jest znana szerokość pasma w łączu radiowym).

3.1.1 Jeśli znany jest współczynnik rozpraszania

Dane:

- Przepływność danych użytkownika (po kodowaniu kanałowym)  $R_b$
- Modulacja
- Współczynnik rozpraszania  $G_P(SF)$

Szukane:

- Przybliżona szerokość pasma sygnału w łączu radiowym  $B_w$

$$G_p = \frac{R_c}{R_b}$$

Z powyższego wzoru mamy  $R_c$

$$B_r \approx R_c$$

$$B_w = \frac{B_r}{\log_2 M}$$

Gdzie:

- $B_w$  - Szerokość pasma w łączu radiowym
- $B_r$  - Pasma sygnału rozproszonego
- $\log_2 M$  - określa ile bitów przypada na 1 symbol

$\log_2 M =$ :

- 4 dla 16QAM
- 5 dla 64QAM
- 8 dla 256 QAM
- 2 dla QPSK



### 3.1.2 Jeśli znana jest szerokość pasma w łączu radiowym

Dane:

- Przepływność danych użytkownika (po kodowaniu kanałowym)  $R_b$
- Modulacja
- Szerokość pasma w łączu radiowym  $B_w$

Szukane:

- Wartość współczynnika rozpraszania  $G_p(SF)$

$$B_w = \frac{B_r}{\log_2 M}$$

Gdzie:

- $B_w$  - Szerokość pasma w łączu radiowym
- $B_r$  - Pasma sygnału rozproszonego
- $\log_2 M$  - określa ile bitów przypada na 1 symbol

$\log_2 M =$ :

- 4 dla 16QAM
- 5 dla 64QAM
- 8 dla 256 QAM
- 2 dla QPSK

Z powyższego obliczamy  $B_r$

$$B_r \approx R_c$$

$$G_p = \frac{R_c}{R_b}$$

## 4 Zadanie 4

**4.1** Jeśli znane są parametry nadawanego sygnału (np. czas trwania 1 symbolu danych użytkownika, rodzaj modulacji i czas trwania 1 bitu ciągu rozpraszającego) obliczyć wartość  $E_c/I_0$  zapewniającą uzyskanie na wyjściu korelatora w odbiorniku zadanej wartości  $E_b/I_0$

- Czas trwania 1 symbolu danych użytkownika  $T_d$
- Rodzaj modulacji
- Czas trwania 1 bitu ciągu rozpraszającego  $T_c$
- Zadana wartość  $\frac{E_b}{I_0}$

$$\frac{E_b}{I_0} [dB] = \frac{E_c}{I_0} [dB] + 10 \log\left(\frac{T_d}{T_c}\right)$$

#### 4.2 Jak zmieni się (ile razy lub o ile dB) wartość $E_b/I_0$ jeśli moc nadawanego sygnału (danych użytkownika) wzrośnie .... razy.

Moc nadawanego sygnału:  $\frac{E_c}{I_0}$

$$\frac{E_b}{I_0} [dB] = \frac{E_c}{I_0} [dB] + 10 \log\left(\frac{T_d}{T_c}\right)$$

#### 4.3 Jak zmieni się (ile razy lub o ile dB) wartość $E_b/I_0$ jeśli przepływność danych użytkownika zmniejszy się .... razy (zakładamy, że szerokość pasma sygnału w łączu radiowym nie ulegnie zmianie)?

Przepływność danych użytkownika:  $R_b$

$$\frac{E_b}{I_0} [dB] = \frac{E_c}{I_0} [dB] + 10 \log(G_p) = \frac{E_c}{I_0} [dB] + 10 \log\left(\frac{R_c}{R_b}\right)$$

$$G_p = \frac{R_c}{R_b} = \frac{T_d}{T_c}$$

Jeśli przepływność danych użytkownika zmniejszy się  $x$  razy, to wartość  $\frac{E_b}{I_0}$  zwiększy się o  $10 \log(x)$  razy.

## 5 Zadanie 5

### 5.1 Obliczyć pojemność (liczbę jednoczesnych użytkowników) w jednokomórkowym systemie CDMA (w wersji najprostszej omawianej na wykładzie) jeśli dane są współczynnik rozpraszania i wymagana wartość $E_b/I_0$ (na wyjściu korelatora w odbiorniku). Wykonać obliczenia pojemności w przypadku, gdy współczynnik rozpraszania nie jest podany wprost (trzeba wyznaczyć go znając np. szerokość pasma emisji, rodzaj modulacji i przepływność danych użytkownika).

#### 5.1.1 Podany wprost współczynnik rozpraszania

Dane:

- Współczynnik rozpraszania  $G_p(SF)$
- Wymagana wartość  $\frac{E_b}{I_0}$  (na wyjściu korelatora w odbiorniku)

Szukane:

- Pojemność (liczbę jednoczesnych użytkowników) w jednokomórkowym systemie CDMA -  $K$

$$K = 1 + \frac{G_p}{\frac{E_b}{I_0}}$$

#### 5.1.2 Nie podany wprost współczynnik rozpraszania

Dane:

- Szerokość pasma emisji  $B_w$
- Rodzaj modulacji
- Przepływność danych użytkownika  $R_b$
- Wymagana wartość  $E_b/I_0$  (na wyjściu korelatora w odbiorniku)

Szukane:

- Pojemność (liczbę jednoczesnych użytkowników) w jednokomórkowym systemie CDMA -  $K$

$$B_w = \frac{B_r}{\log_2 M}$$

Gdzie:

- $B_w$  - Szerokość pasma w łączu radiowym
- $B_r$  - Pasma sygnału rozproszonego
- $\log_2 M$  - określa ile bitów przypada na 1 symbol

$\log_2 M =$ :

- 4 dla 16QAM
- 6 dla 64QAM
- 8 dla 256 QAM
- 2 dla QPSK

Z powyższego obliczamy  $B_r$

$$B_r \approx R_c$$

$$G_p = \frac{R_c}{R_b}$$

$$K = 1 + \frac{G_p}{\frac{E_b}{I_0}}$$

## 6 Zadanie 6

**6.1** W łączu w dół systemu UMTS (FDD) jest wykorzystywany ciąg rozpraszający (np. 1,-1,-1,1,1,-1,1 ). Wiedząc, że dane użytkownika zostały wcześniej zakodowane ze sprawnością ..... (np. 1/3) podać przepływność danych użytkownika ..... [kb/s].

Dane:

- Ciąg rozpraszający (np. 1,-1,-1,1,1,-1,1 )
- Sprawność np  $\frac{1}{3}$

Szukane:

- Przepływność danych użytkownika  $R_b$  [ $\frac{kb}{s}$ ]

Dla 8-znakowego ciągu rozpraszającego  $G_p = SF = 8$

$$R_b = \frac{7,68 \cdot 10^6}{G_p}$$

Jest to wartość stała, do zapamiętania.

W tym wypadku:

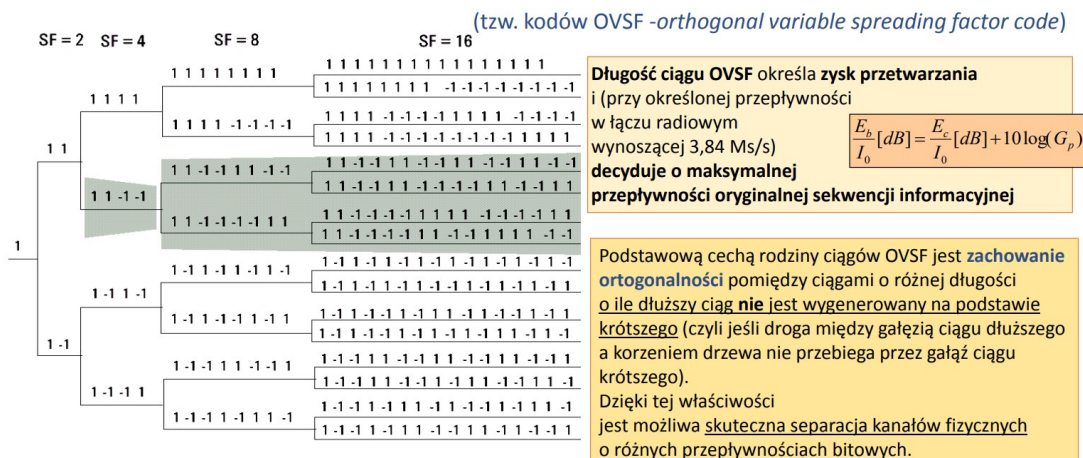
$$R_b = \frac{7,68 \cdot 10^6}{8} = 960kb/s$$

Uwzględniając sprawność kodowania  $\frac{1}{3}$

$$960kb/s \cdot \frac{1}{3} = 320kb/s$$

## 6.2 Proszę przydzielić ..... ciągi rozpraszające (OVSF) umożliwiające jednoczesną transmisję informacji do innych użytkowników z ..... razy większymi (ew. mniejszymi) przepływnościami (przy tej samej sprawności kodowania kanałowego).....

Ciągi OVFSF muszą być ortogonalne do naszego ciągu. Przepływność będzie  $x$  razy większa, jeśli  $G_p = SF$  będzie  $x$  razy mniejsze, czyli ciąg będzie długości  $\frac{8}{x}$



Rysunek 4

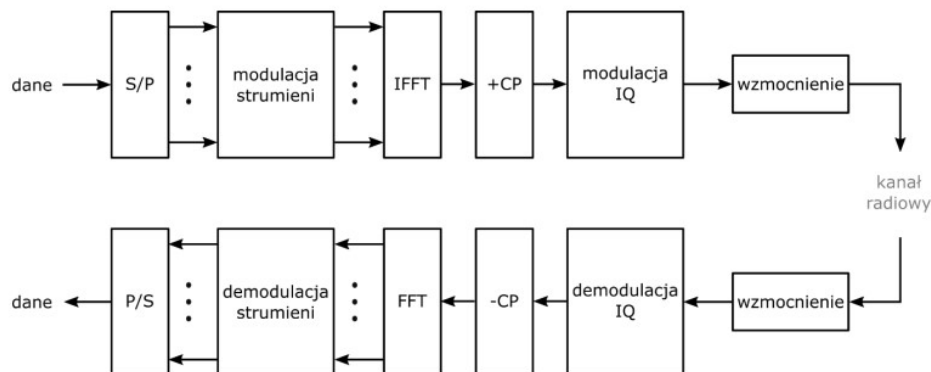
## 7 Zadanie 7

### 7.1 W pewnym systemie z modulacją OFDM wytworzono sygnał, którego widmo składa się z ... (np. 500) podnośnych. W jaki sposób to uzyskano korzystając tylko z 1 nadajnika?

Przesyłamy informacje „równolegle” dzieląc strumień informacji na podstrumienie. Istotą modulacji wielotonowej (OFDM) jest rozdzielenie strumienia danych na dużą liczbę „podstrumieni” o znacznie niższej szybkości transmisji, a następnie - dokonanie modulacji osobnych podnośnych danymi z poszczególnych podstrumieni.

Okazuje się, że mimo emisji (i odbioru) na wielu podnośnych nie jest konieczne stosowanie dla każdej z nich oddzielnego nadajnika (i odbiornika). Można skorzystać z: odwrotnej dyskretnej transformaty Fouriera IFFT (w nadajniku) i dyskretnej transformaty Fouriera FFT (w odbiorniku)

## 7.2 Proszę narysować i krótko omówić etapy przetwarzania sygnału danych użytkownika w nadajniku



Rysunek 5

W nadajniku:

- strumień danych o wysokiej przepływności jest rozdzielany na wiele wolniejszych strumieni
- są one następnie osobno modulowane za pomocą jednej z modulacji cyfrowych np. QPSK, 16QAM
- Otrzymane symbole są wykorzystywane do zmodulowania ortogonalnych, sinusoidalnych podnośnych co jest realizowane za pomocą odwrotnej transformata Fouriera IDFT
- Do otrzymanego w jej wyniku symbolu OFDM dodawany jest przedrostek cykliczny CP
- Sygnał jest następnie przenoszony na docelową częstotliwość, wzmacniany i nadawany

W odbiorniku:

- sygnał jest wzmacniany i przenoszony do pasma podstawowego w wyniku przemiany częstotliwości
- Przedrostek cykliczny jest odrzucany i obliczana jest transformata Fouriera pozwalająca odzyskać symbole, którymi zostały zmodulowane podnośne
- Symbole są następnie demodulowane co skutkuje otrzymaniem ciągów bitów.
- Często praktyką jest również niewykorzystywanie skrajnych podnośnych w celu zapewnienia redukcji zakłóceń w sąsiednich kanałach radiowych (widmo sygnału OFDM jest szersze niż suma pasm zajmowanych przez podnośne).

## 8 Zadanie 8

### 8.1 Proszę krótko omówić podstawowe zalety transmisji z wykorzystaniem sygnału OFDM (w porównaniu z emisjami w systemie CDMA przy podobnej przepływności danych użytkownika).

- Odporność na błędy związane z wielodrogowością – w tym na interferencję symbolowe
- OFDMA może osiągnąć wyższą wydajność widmową dzięki MIMO niż CDMA.
- Łatwość realizacji technik adaptacyjnych w celu redukcji wpływu błędów częstotliwości i fazy wprowadzanych przez tor transmisyjny
- Można go stosunkowo łatwo skalować zgodnie z wymaganiami

- Systemy OFDM mogą obsługiwać większą liczbę użytkowników w jednej komórce
- Możliwość celowego kształtowania widma emisji również wewnątrz pasma emisji (możliwość „wyłączania” poszczególnych podnośnych lub zwiększania poziomu wybranych składowych, np. przenoszących sygnały pilotujące i synchronizacyjne) – łatwe dopasowanie widma do wymagań stawianych przez regulacje prawne
- Zwiększenie odporności na zaniki selektywne wynikające z nierównomiernej charakterystyki kanału

## 8.2 Co to jest współczynnik PAPR, czy z punktu widzenia konstruktora nadajnika OFDM korzystne są małe czy duże wartości PAPR? Dlaczego?

PAPR - Peak to Average Power Ratio - współczynnik mocy szczytowej do mocy średniej sygnału

Duża wartość współczynnika PAPR (Peak to Average Ratio) powoduje wzrost wymagań stawianych wzmacniaczom, więc korzystne są małe wartości PAPR.

Przez to, sygnały OFDM cechują się wysokim współczynnikiem PAPR (Peak to Average Power Ratio) mocy szczytowej do średniej. Wysoki parametr PAPR powoduje, że wzrastają wymagania na liniowość toru przetwarzania sygnału, co wpływa na wzrost kosztów i energochłonności układów.

## 8.3 W sieci telewizji cyfrowej (DVB-T) kilka nadajników rozmieszczonych w sąsiednich powiatach może nadawać ten sam multipleks programów w tym samym kanale radiowym; jednoczesny odbiór z dwóch (kilku) nadajników pracujących w tym samym kanale jest możliwy pod warunkiem spełnienia dwóch istotnych wymagań: .....

Wymagania

- Precyzyjna zgodność częstotliwościowa - w trybie 8k odstęp między podnośnymi 1,116 kHz
- Niewielkie różnice opóźnień czasowych (mniejsze od odstępu ochronnego) - w trybie 8k: dla  $\frac{1}{4}$  - ok.  $220\mu s$  dla  $\frac{1}{8}$  - ok.  $110\mu s$  itd

## 9 Zadanie 9

### 9.1 W pewnym sygnale OFDM czas trwania 1 symbolu wynosi ..... [ $\mu s$ ], z czego 20% (lub 10%, lub 12,5%, lub 5% ) stanowi odstęp ochronny. Odstęp między najbliższymi podnośnymi wynosi: ..... [kHz], a przepływność symbolowa (brutto) w przeliczeniu na jedną podnośną ..... [ksymb/s]. Aby łączna przepływność symbolowa (na wszystkich podnośnych) wynosiła ..... [Msymb/s] podnośnych powinno być co najmniej....., szerokość pasma sygnału wynosiłaby wtedy ok. ....[MHz]

Dane:

- Czas trwania 1 symbolu:  $T_s = T_g + T_{ort}$
- Odstęp ochronny (np. dla 20 %)  $T_g = 0,2 \cdot T_s$
- Łączna przepływność symbolowa (na wszystkich podnośnych)  $R_s$  [Msymb/s]

Szukane:

- Odstęp między podnośnymi  $\Delta f = \frac{1}{T_{ort}}$

- Przepływność symbolowa (brutto) w przeliczeniu na jedną podnośną  $R_{S1}[ksymb/s] = \frac{1}{T_s} = \frac{1}{T_{ort}(1+w_g)}$
- Liczba podnośnych  $N = \frac{R_S}{\Delta f}$
- Szerokość pasma sygnału  $B = N \cdot \Delta f = \frac{N}{T_{ort}}$

$$T_{ort} = T_s - T_g$$

Odstęp między podnośnymi:

$$\Delta f = \frac{1}{T_{ort}}$$

Przepływność symbolowa (brutto) w przeliczeniu na jedną podnośną:

$$R_{S1} = \frac{1}{T_s}$$

Liczba podnośnych:

$$N = \frac{R_S}{R_{S1}}$$

Szerokość pasma sygnału:

$$B = N \cdot \Delta f = \frac{N}{T_{ort}}$$

## 10 Zadanie 10

- 10.1** W pewnym systemie wykorzystującym sygnały OFDM łączna przepływność danych użytkownika powinna wynieść ..... (np.2 [Mb/s]). W systemie tym istnieje propagacja wielodrogową, w której maksymalna różnicą dróg propagacji wynosi ..... (np.200 m). Proszę tak dobrać podstawowe parametry emisji (czas  $T_{ort}$ , odstęp modulacji  $T_{sOFDM}$ , odstęp między podnośnymi  $\Delta f$ , liczbę podnośnych  $N$  i rodzaj modulacji, by uzyskać zakładaną przepływność danych użytkownika i by współczynnik odstępu ochronnego był nie mniejszy od  $\frac{1}{8}$  i nie większy od  $\frac{1}{4}$ .

Dane:

- Łączna przepływność danych użytkownika  $R_{bk} = N \cdot \frac{1}{T_{ort}(1+w_g)} \cdot \Delta f \cdot \text{liczbabitownasymbol}$
- Maksymalna różnicą dróg propagacji wynosi ..... (np.200 m)  $\Delta l = w_g \cdot c \cdot T_{sOFDM}$ ,  $c = 3 \cdot 10^9 m$

Szukane:

- Odstęp modulacji  $T_{sOFDM} = \frac{w_g \cdot \Delta l}{c}$
- Współczynnik odstępu ochronnego był nie mniejszy od  $\frac{1}{8}$  i nie większy od  $\frac{1}{4}$  - testujemy dla obu tych wartości "skrajnych".  $w_g = \frac{T_g}{T_{ort}}$   $T_{ort} = \frac{1}{\Delta f}$
- Czas  $T_{ort}$ ,  $T_{ort} = T_{sOFDM} - T_g$ ,  $w_g = \frac{T_g}{T_{ort}}$
- Odstęp między podnośnymi  $\Delta f = \frac{1}{T_{ort}}$
- Liczbę podnośnych  $N = \frac{R_{bk} \cdot T_{ort}(1+w_g)}{\Delta f \cdot \text{liczbabitownasymbol}}$
- Rodzaj modulacji

Liczba bitów na symbol dla danych modulacji:

- 4 dla 16QAM
- 6 dla 64QAM
- 8 dla 256 QAM
- 2 dla QPSK

## 11 Zadanie 11

11.1 W nadajniku systemu OFDM wykorzystano 1024-punktowe odwrotne przekształcenie Fouriera. Odstęp między podnośnymi wynosi ..... (np. 5 kHz) i nie wykorzystuje się 24 skrajnych podnośnych, Każdą z pozostałych podnośnych zmodulowano wykorzystując modulację ..... (np. 16 QAM). Gdyby zrezygnowano z odstępu ochronnego przepływność bitową przypadającą na 1 podnośną można byłoby oszacować na ..... [kb/s] a całkowite pasmo emisji na ..... [MHz]. Gdyby jednak wprowadzono odstęp ochronny (przedrostek cykliczny) „1/4” przepływność całkowita (dla wszystkich podnośnych wyniosłaby ok. ....[kb/s]

Dane:

- 1024-punktowe odwrotne przekształcenie Fouriera:  $N' = 1024$
- Odstęp między podnośnymi wynosi ..... (np. 5 kHz)  $\Delta f$
- Nie wykorzystuje się 24 skrajnych podnośnych:  $N = 1024 - 24 = 1000$
- Modulacja (np. 16 QAM)

$\log_2 M =$ :

- 4 dla 16QAM
- 6 dla 64QAM
- 8 dla 256 QAM
- 2 dla QPSK

Szukane:

- Przepływność bitowa przypadająca na 1 podnośną [kb/s] (gdyby zrezygnowano z odstępu ochronnego)  $R_{b1} = \frac{\log_2 M}{T_{ort}} = \log_2 M \cdot \Delta f$
- Całkowite pasmo emisji (gdyby zrezygnowano z odstępu ochronnego):  $B = N \cdot \Delta f$
- Przepływność całkowita (dla wszystkich podnośnych) [kb/s] (gdyby wprowadzono odstęp ochronny (przedrostek cykliczny) „1/4”)  $R_{b1} = \frac{N \cdot \log_2 M}{T_{ort}(1+w_g)}$ , w tym przypadku  $w_g = \frac{1}{4}$ ,  $T_{ort} = \frac{1}{\Delta f}$



## 12 Zadanie 12

- 12.1 Załóżmy, że w łączu systemu LTE pracującego w pasmie o szerokości ..... [MHz] zastosowano modulację ..... (np. QPSK, 16QAM...) i normalne odstępy ochronne. Łączna przepływność transmisji (brutto) wynosi ok. .... [Mb/s]. Ilu użytkowników można obsłużyć w czasie 0,2 s (proszę podać wartość maksymalną zakładając w uproszczeniu, że nie są przesyłane sygnały pomocnicze) ..... Przepływność danych tego użytkownika wyniesie ..... [kb/s]

Stałe dla systemu LTE:

- Odstęp między podnośnymi:  $\Delta f = 15kHz$
- Przedział ortogonalności  $T_{ort} = \frac{1}{\Delta f} = 66,67\mu s$
- Czas trwania jednej szczeliny  $T_{sz} = 0,5ms$
- W czasie  $T_{sz}$  przesyłamy albo 6 albo 7 symboli  $k = 6$  lub  $k = 7$
- Liczba podnośnych w bloku  $N_{pbl} = 12$

Dane:

- Szerokość pasma  $B$  [MHz]
- Modulacja (np. QPSK, 16QAM...)
- Normalne odstępy ochronne  $w_g = \frac{T_g}{T_{ort}} = \frac{1}{4}$
- Modulacja (np. 16 QAM)
- Łączna przepływność transmisji (brutto) [Mb/s]  $R_{b1} = \frac{N \log_2 M}{T_{SOFDM}} = \frac{N \cdot \log_2 M}{T_{ort}(1+w_g)} = \frac{N \cdot \log_2 M}{T_{ort}+T_g}$

$\log_2 M =$ :

- 4 dla 16QAM
- 6 dla 64QAM
- 8 dla 256 QAM
- 2 dla QPSK

Szukane:

- Ilu użytkowników można obsłużyć w czasie 0,2 s (proszę podać wartość maksymalną zakładając w uproszczeniu, że nie są przesyłane sygnały pomocnicze):  $k$
- Przepływność danych tego użytkownika [kb/s]  $R_{bU}$

Rozwiązanie:

Odstęp między podnośnymi dla LTE jest stały i wynosi:

$$\Delta f = 15kHz$$

Obliczenie liczby podnośnych:

$$N = \frac{B}{\Delta f}$$

Przepływność symbolowa jednej podnośnej:

- Dla 6 symboli przesyłanych w czasie szczeliny

$$6symboli/0,5ms$$

$$R_{S1} = 12ksymboli/s$$

- Dla 7 symboli przesyłanych w czasie szczeliny

$$7symboli/0,5ms$$

$$R_{S1} = 14ksymboli/s$$

Przepływność bitowa jednej podnośnej:

- Dla 6 symboli przesyłanych w czasie szczeliny

$$R_{b1} = 12ksymboli/s \cdot \log_2 M$$

- Dla 7 symboli przesyłanych w czasie szczeliny

$$R_{b1} = 14ksymboli/s \cdot \log_2 M$$

Łączna przepływność transmisji (brutto):

$$R_b = R_{b1} \cdot N$$

Liczba bloków (każdy blok ma 12 podnośnych):

$$N_{blok} = \frac{N}{12}$$

Ilu użytkowników można obsłużyć w czasie 0,2 s:

$$k = \frac{0,2s \cdot N_{blok}}{0,5ms \cdot 2}$$

Przepływność danych tego użytkownika:

$$R_{bU} = \frac{N \cdot R_{S1} \cdot \log_2 M}{k}$$

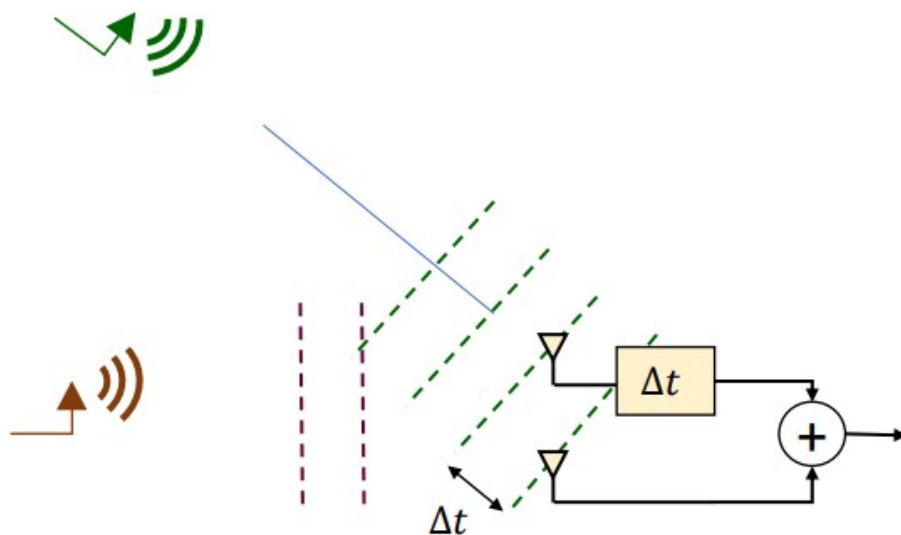
## 13 Zadanie 13

### 13.1 Proszę wymienić wersje techniki MIMO

- nadawanie zbiorcze (transmit diversity - TxD), odbiór zbiorczy (receive diversity - RxD)
- nadawanie/odbiór z formowaną wiązką (beamforming)
- multipleksacja przestrzenna (spatial multiplexing)

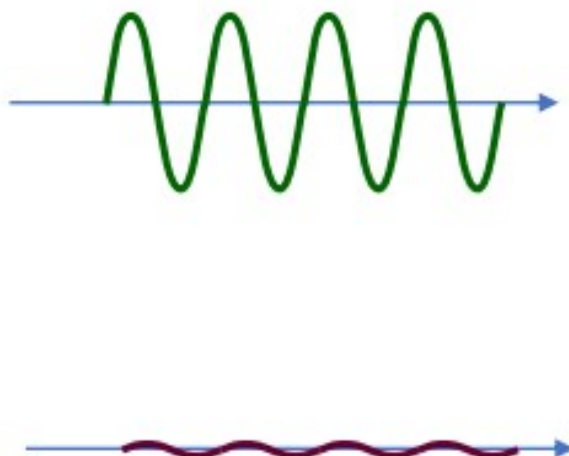
### 13.2 Wyjaśnić ideę transmisji z formowaną wiązką (beamforming).

- Technika polega na odpowiednim doborze przesunięć fazowych i wzmocnień sygnałów podawanych/odbieranych na/z wejścia poszczególnych anten.
- Kształt i szerokość wiązki zależy od liczby i rozmieszczenia anten



Rysunek 6

Sygnal na wyjściu  
szyku antenowego



Rysunek 7

### 13.3 Jakie może być zastosowanie tego typu transmisji.

Zastosowanie w systemach komórkowych (bo występują tam zakłócenia), sieciach WLAN - w routerach Wi-Fi (od standardu 802.11ac)

### 13.4 Dlaczego jest to rozwiązanie atrakcyjne.

- Poprawa jakości odbioru w stacjach ruchomych odległych od stacji bazowych - poprzez zmienianie opóźnień można dopasowywać kierunkowość sygnału
- Możliwość ukierunkowania transmisji, wybrania obszaru do pokrycia transmisją
- Stłumienie transmisji w niepożądanych kierunkach
- Ograniczenie wpływu sygnałów zakłócających

### 13.5 Czy jest możliwa obsługa za pomocą beamformingu kilku odbiorników?

MU-MIMO wykorzystuje mechanizm formowania wiązki (beamforming). Formowanie wiązki wprowadzono w specyfikacji 802.11ac, w ten sposób sygnał jest efektywniej dystrybuowany, więc technologia pomaga zwiększyć zasięg i szybkość transmisji.

W ramach techniki MU-MIMO możliwa jest transmisja do kilku stacji ruchomych w tym samym kanale radiowym. Nie jest możliwe wspólne przetworzenie sygnału w kilku odbiornikach, ciężar przetwarzania spoczywa na nadajniku.

## 14 Zadanie 14

### 14.1 Proszę wymienić wersje techniki MIMO.

- nadawanie zbiorcze (transmit diversity - TxD), odbiór zbiorczy (receive diversity - RxD)
- nadawanie/odbiór z formowaną wiązką (beamforming)
- multipleksacja przestrzenna (spatial multiplexing)

### 14.2 Wyjaśnić ideę transmisji z multipleksacją przestrzenną (spatial multiplexing).

Technika umożliwia przesłanie kilku niezależnych strumieni przy pomocy kilku anten. Po stronach nadawczej i odbiorczej mamy pewne liczby anten

Technika polega na dzieleniu sygnału danych na niezależne strumienie i wysyłaniu go przy pomocy kilku anten, odbiór też za pomocą kilku anten. Pozwala to np. na zwielokrotnienie przepływności, poprawę jakości transmisji. Może być zastosowana w przesyłaniu dużej ilości danych np. w LTE, gdyż poprawia znacząco przepływność.

### 14.3 Jakie może być zastosowanie tego typu transmisji?

Zastosowanie w systemach komórkowych czwartej i piątej generacji oraz sieciach WLAN

### 14.4 Dlaczego jest to rozwiązanie atrakcyjne?

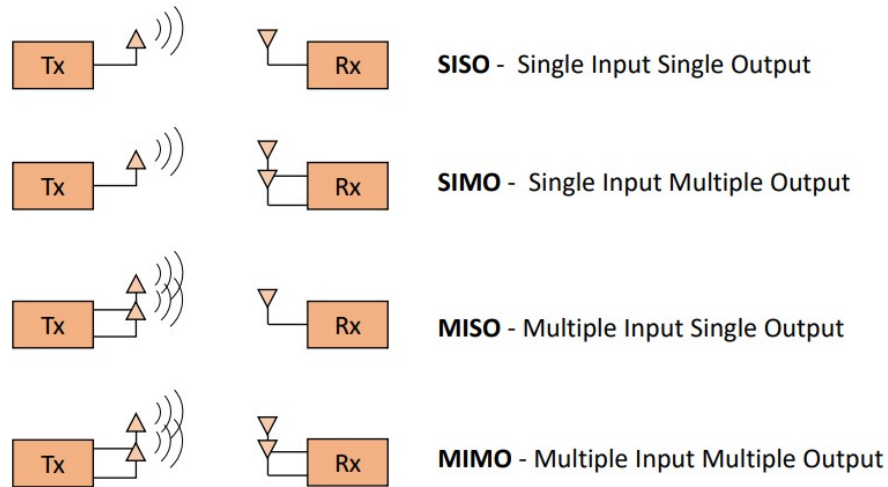
- Pozwala ono na zwielokrotnienie przepływności uzyskiwanej w tym samym kanale radiowym
- Poprawa jakości transmisji

### 14.5 Czy jest możliwa obsługa za pomocą tej techniki kilku odbiorników?

Jest możliwa obsługa za pomocą tej techniki kilku odbiorników.

## 15 Zadanie 15

15.1 Proszę przedstawić klasyfikację systemów ze względu na liczbę użytych anten.



Rysunek 8

15.2 Proszę zdefiniować pojęcie odbioru zbiorczego.

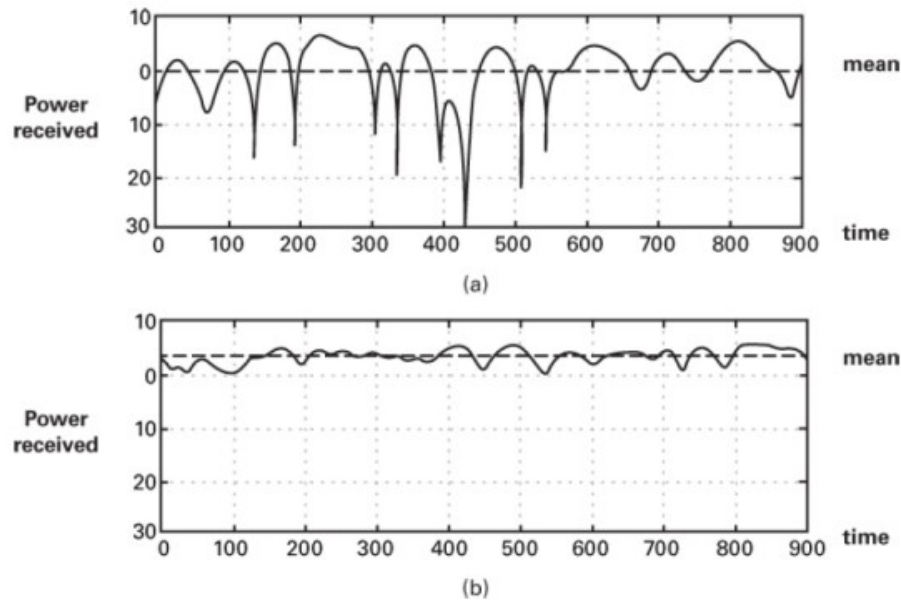
Odbiór zbiorczy polega na odbiorze jednego strumienia danych za pomocą zestawu anten, dzięki czemu możemy uśrednić moc nadawanego sygnału, który jest deterministyczny i zredukować moc szumów.

15.3 Jak wpływa odbiór zbiorczy na charakterystyki bitowej stopy błędów w funkcji wartości  $E_b/N_0$ ?

Odbiór zbiorczy skutkuje zmniejszeniem prawdopodobieństwa zaników. W przypadku odbioru zbiorczego prawdopodobieństwo to zależy od liczby anten  $L$ .

$$(P_B)^L \propto \left(\frac{k}{E_b}\right)^L \propto \left(\frac{E_b}{N_0}\right)^{-L} \propto SNR^{-L}$$

Rysunek 9



Źródło: B.Sklar, J. Harris; „Digital Communications Fundamentals and Applications”

- a) moc odbieranego sygnału w kanale z zanikami
- b) moc odbieranego sygnału w przypadku odbioru zbiorczego

Rysunek 10

Przy założeniu, że odbierane sygnały są niezależne

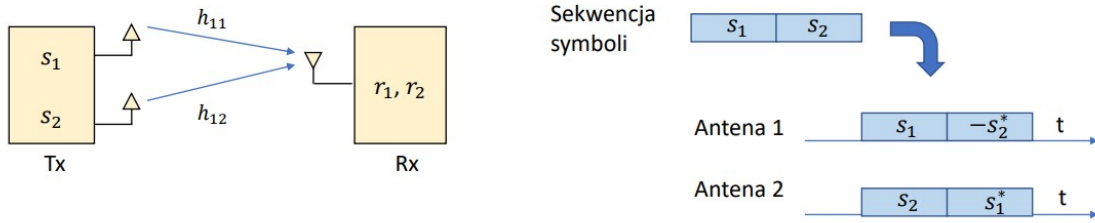
## 16 Zadanie 16

### 16.1 Na przykładzie kodu Alamoutiego proszę wyjaśnić ideę techniki STBC (Space Time Block Codes).

STBC to technika stosowana do przesyłania wielu kopii strumienia danych przez wiele anten i wykorzystywania różnych odebranych wersji danych w celu poprawy niezawodności przesyłania danych. Fakt, że przesyłany sygnał musi przechodzić przez potencjalnie trudne środowisko z rozpraszaniem, odbiciem, załamaniem itp., a następnie może być dalej zniekształcany przez szum termiczny w odbiorniku oznacza, że niektóre z odebranych kopii danych mogą być bliższe oryginalnemu sygnałowi niż inne. Ta nadmiarowość skutkuje większą szansą na użycie jednej lub więcej odebranych kopii do prawidłowego dekodowania odebranego sygnału. W rzeczywistości kodowanie czasoprzestrzenne łączy wszystkie kopie odebranego sygnału w optymalny sposób, aby wydobyć jak najwięcej informacji z każdej z nich.

- Technika SBTC polega na poprawie jakości transmisji poprzez wprowadzenie nadmiarowości w transmitowanych sygnałach
- Jedno z podstawowych rozwiązań polega na wykorzystaniu kodu Alamoutiego

Kod Alamoutiego polega na tym że z anten nadawczych wysyłamy takie sygnały:



$$\begin{aligned}
 r_1 &= h_{11}s_1 + h_{12}s_2 & h_{11}^*r_1 &= |h_{11}|^2s_1 + h_{11}^*h_{12}s_2 \\
 r_2 &= -h_{11}s_2^* + h_{12}s_1^* & h_{12}^*r_2 &= -h_{11}h_{12}^*s_2^* + |h_{12}|^2s_1^* & h_{12}r_2^* &= -h_{11}^*h_{12}s_2 + |h_{12}|^2s_1
 \end{aligned}$$

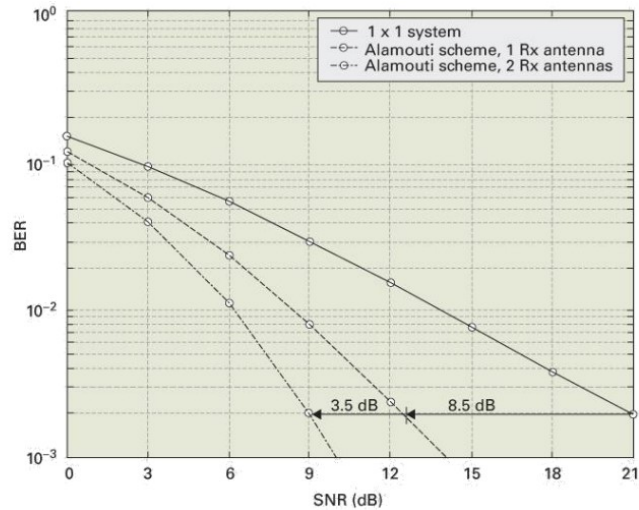
Rysunek 11

I wykonujemy w odbiorniku operacje dzięki, którym otrzymujemy estymaty nadanych symboli

Estymaty symboli  $\hat{s}_1$  i  $\hat{s}_2$ :

$$\hat{s}_1 = \frac{h_{11}^*r_1 + h_{12}r_2^*}{|h_{11}|^2 + |h_{12}|^2} \quad \hat{s}_2 = \frac{h_{12}^*r_1 + h_{11}r_2^*}{|h_{11}|^2 + |h_{12}|^2}$$

- Kod Alamoutiego umożliwia osiągnięcie dużego zysku bez wprowadzania istotnych zmian w systemie



Rysunek 12

## 16.2 Jakie zalety wynikają z jej wykorzystania?

- Kod Alamoutiego umożliwia osiągnięcie dużego zysku jakości sygnału odbieranego (spadek SNR o kilka do kilkunastu dB dla danej stopy błędów) bez wprowadzania istotnych zmian w systemie

## 16.3 Co stanowi wadę tego rozwiązania?

Nadawanie jest mało efektywne, występuje nadmiarowość danych, ta sama informacja wędruje do odbiornika w kolejnym cyklu. Potencjalna przepływność transmisji spada

## 17 Zadanie 17

### 17.1 Co rozumiemy pod pojęciem CSI (Channel State Information)?

CSI - informacja o stanie kanału, w systemach MIMO informacja ta jest zawarta w macierzy H

CSI odnosi się do znanych właściwości kanału łączy komunikacyjnego. Informacje te opisują sposób rozchodzenia się sygnału z nadajnika do odbiornika i przedstawiają łączny efekt, na przykład, rozpraszania, zanikania i zaniku mocy wraz z odległością. Metoda nazywa się estymacją kanału. CSI

umożliwia dostosowanie transmisji do aktualnych warunków w kanale, co jest kluczowe dla uzyskania niezawodnej komunikacji z dużymi szybkościami transmisji danych w systemach wieloantenowych.

**17.2 Jaką rolę odgrywa informacja o stanie kanału w procesie transmisji? Czy znajomość tej informacji w nadajniku pozwala na poprawę jakości transmisji? Odpowiedź proszę uzasadnić.**

CSI umożliwia dostosowanie transmisji do aktualnych warunków w kanale, co jest kluczowe dla uzyskania niezawodnej komunikacji z dużymi szybkościami transmisji danych w systemach wieloantenowych. Informacja CSI jest transmitowana do nadajnika, po to żeby mógł odpowiednio przygotować transmisję przed jej rozpoczęciem.

## **18 Zadanie 18**

**18.1 Jaka zależność może być użyta do wyznaczenia pojemności w kanale radiowym SISO?**

- Miarą przepustowości kanału transmisyjnego jest ilość informacji, którą można przesłać bezbłędnie lub zadaną stopą błędów w jednostce czasu
- Twierdzenie Shannona określa maksymalną teoretyczną przepływność w obecności szumu gausowskiego (AWGN)
- Zgodnie z twierdzeniem istnieje schemat kodowania, który pozwala na zbliżenie się do tej granicy przy założonym, małym prawdopodobieństwie błędu transmisji

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

Gdzie:

- B – szerokość kanału
- C – przepływność kanału [bit/s]
- S – średnia moc odebranego sygnału
- N – średnia moc szumu

**18.2 Jak zmienia się pojemność kanału w przypadkach nadawania i odbioru zbiorczego i multipleksacji przestrzennej? Jaka wpływa na pojemność liczba anten?**

W przypadku odbioru zbiorczego sygnał dociera do odbiornika N kanałami o tłumieniu  $h_i$ . Przy założeniu, że moce sygnałów możemy zsumować pojemność można określić zależnością:

$$C = B \log_2 \left( 1 + \frac{P}{BN_0} \sum_{i=1}^N |h_i|^2 \right)$$

Rysunek 13



W przypadku nadawania zbiorczego sygnał dociera do odbiornika N kanałami o tłumieniu  $h_i$ . Przy założeniu, że moc nadajnika jest dzielona na N kanałów:

$$C = B \log_2 \left( 1 + \frac{P}{BN_0 N} \sum_{i=1}^N |h_i|^2 \right)$$

Rysunek 14

Pojemność kanału MIMO (M- anten nadawczych i N odbiorczych) jest równa:

$$C = B \log_2 \left( \det(I_N + \frac{SNR}{M} H H^H) \right)$$

Uproszczona zależność ma postać:

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

$$m = \min(M, N)$$

## 19 Zadanie 19

### 19.1 Proszę wskazać podobieństwa i różnice pomiędzy systemami LTE-M i NB-IoT.

#### 19.1.1 Podobieństwa pomiędzy systemami LTE-M i NB-IoT

- Podobne tryby oszczędzania energii - PSM, DRX
- W obu technologiach zwiększenie zasięgu jest uzyskiwane poprzez retransmisję informacji
- Zwiększone pokrycie zasięgiem wewnątrz pomieszczeń
- Niski koszt urządzeń
- Praca w zakresach częstotliwości wykorzystywanych przez sieci komórkowe

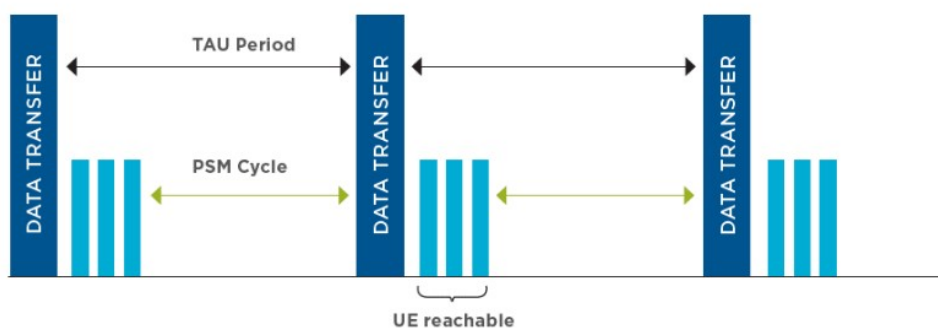
#### 19.1.2 Różnice pomiędzy systemami LTE-M i NB-IoT

- System LTE-M jest łatwiejszy do wdrożenia (wymaga jedynie aktualizacji oprogramowania przy przejściu z LTE)
- LTE-M umożliwia przenoszenie połączeń, a NB-IoT nie
- NB-IoT jest jeszcze bardziej energooszczędne i ma jeszcze większy zasięg niż LTE-M
- Różnice na zakresach wartości okresów nieaktywności stacji ruchomej w PSM i DRX
- LTE-M oferuje wielokrotnie większe maksymalne przepływności danych

## 19.2 Proszę wyjaśnić pojęcia PSM i DRX. W jakim celu są one stosowane w komórkowych systemach internetu rzeczy?

### 19.2.1 Pojęcia PSM i DRX

- PSM - Power Save Mode
  - Tryb PSM (Power Saving Mode) jest podobny do wyłączenia, ale stacja ruchoma pozostaje dołączona do sieci
  - Stacja jest osiągalna dla sieci przez krótki okres (Active Time) po zakończeniu transmisji
  - Stacja ruchoma zgłasza chęć przejścia do trybu PSM wysyłając w komunikacie sieciowym (Attach, TAU,RAU) wartość okresu, ostateczna wartość okresu jest określona przez sieć
  - Po wyjściu z trybu PSM stacja powinna wykonać procedurę TAU lub przeprowadzić transmisję danych
  - PSM może być stosowany łącznie z eDRX



Rysunek 15

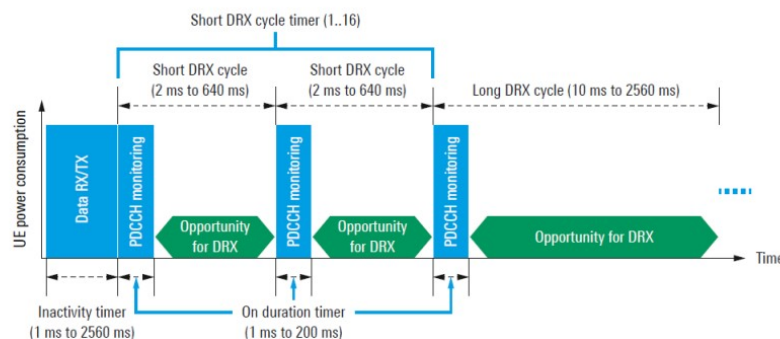
- DRX - Discontinuous reception - nieciągły odbiór informacji przywoławczych
  - iDRX - tryb gdy urządzenie jest w stanie idle i co jakiś czas jest monitoring PDCCH
  - cDRX- gdy odebrano dane i spodziewa się następnych trwa od 2 do 640ms

## DRX w LTE

- iDRX (RRC idle)



- cDRX (RRC connected)



Rysunek 16

### 19.2.2 W jakim celu są one stosowane w komórkowych systemach internetu rzeczy?

Tryby te są stosowane w celu zmniejszenia zużycia energii poprzez wprowadzanie urządzenia w stan nieaktywności / uśpienia

## 20 Zadanie 20

20.1 Proszę opisać techniki wykorzystane w komórkowych systemach internetu rzeczy LTE-M i NB-IoT w celu zwiększenia zasięgu transmisji i ograniczenia poboru energii.

### 20.1.1 Techniki zwiększenia zasięgu

Podstawowa technika poprawy zasięgu stosowana w LTE-M polega na powtarzaniu transmisji informacji. W standardzie zaproponowano dwa tryby: CE Mode A, CE Mode B.

### Maksymalne wartości powtórzeń transmisji w trybach A i B

LTE-M CHANNEL	MODE A REPETITIONS	MODE B REPETITIONS
PSS/SSS	1	1
PBCH	1	5
MPDCCH	16	256
PDSCH	32	2048
PUSCH	32	2048
PUCCH	8	32
PRACH	32	128

Rysunek 17

W NB-IoT podobnie jak w LTE-M zwiększenie zasięgu jest uzyskiwane poprzez retransmisję informacji w standardzie zdefiniowano trzy tryby zapewniające wzrost budżetu łącza w porównaniu z GPRS: EC0 (0dB), EC1 (10dB) i EC2 (20dB).

Łącze	Kanał/sygnał	Liczba powtórzeń	Modulacja
w dół	NPBCH	64	QPSK
	NPDCCH	1,2,4,8,32,64,128,256,512,1024,2048	QPSK
	NPDSCH	1,2,4,8,32,64,128,192,256,384,512,768,1024,1536,2048	QPSK
w górę	NPRACH	1,2,4,8,32,64,128	-
	NPUSCH	1,2,4,8,32,64,128	$\pi/4$ -QPSK and $\pi/2$ -BPSK

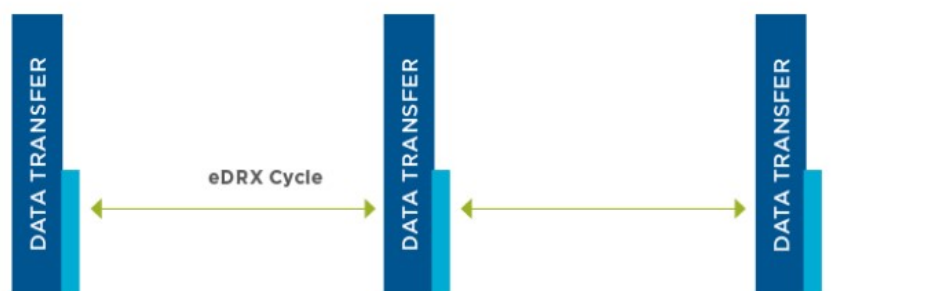
Rysunek 18

### 20.1.2 Techniki ograniczenia poboru energii

W LTE-M i NB-IoT w celu oszczędzania energii stosowane są techniki eDRX i PSM

#### eDRX

- Pozwala na zwiększenie czasu, podczas którego urządzenie nie prowadzi nasłuchu
- Stacja ruchoma może zażądać i zaproponować okres eDRX podczas procedury dołączania do sieci lub procedury aktualizacji informacji o położeniu
- Rola MME polega na akceptacji lub zaproponowaniu nowej wartości okresu

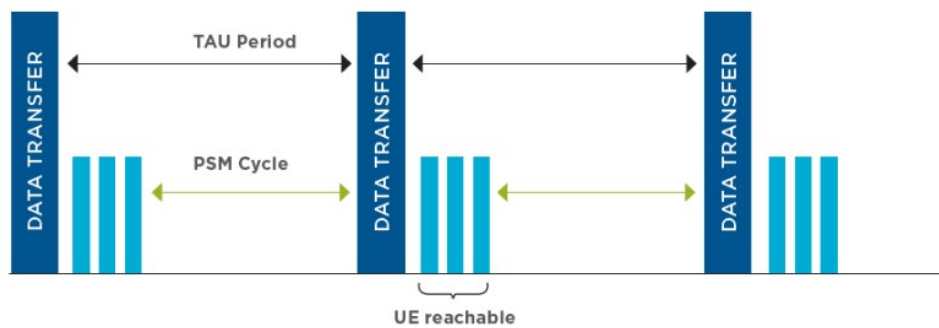


Źródło: LTE-M Deployment Guide to Basic Feature Set Requirements, GSMA 2019

Rysunek 19

#### PSM

- Tryb PSM (Power Saving Mode) jest podobny do wyłączenia, ale stacja ruchoma pozostaje dołączona do sieci
- Stacja jest osiągalna dla sieci przez krótki okres (Active Time) po zakończeniu transmisji
- Stacja ruchoma zgłasza chęć przejścia do trybu PSM wysyłając w komunikacie sieciowym (Attach, TAU,RAU) wartość okresu, ostateczna wartość okresu jest określona przez sieć
- Po wyjściu z trybu PSM stacja powinna wykonać procedurę TAU lub przeprowadzić transmisję danych
- PSM może być stosowany włącznie z eDRX



Rysunek 20