

Analiza pracy odbiornika systemu LTE w warunkach propagacji wielodrogowej oraz interferencji wspólnokanałowych

Streszczenie. Artykuł porusza zagadnienie analizy wpływu zjawisk propagacji wielodrogowej oraz zakłóceń wspólnokanałowych na pracę odbiornika OFDMA w łączu od stacji bazowej do użytkownika ruchomego w systemie LTE. Zjawiska te powodują rozrzut konstelacji odebranych symboli, co skutkuje wzrostem stopy błędów transmisji, a w skrajnych przypadkach jej zerwaniem. Przedstawiono zostały wyniki badań symulacyjnych wpływu propagacji wielodrogowej oraz interferencji wspólnokanałowych na pracę odbiornika LTE OFDMA.

Abstract. This paper deals with the issue of analysis of influence of multipath channel propagation and co channel interference on operations of OFDMA receiver in the LTE downlink. The analyzed phenomena cause spread in the constellation of received symbols that leads to increase of bit error rate and even to break the transmission. The paper presents and discussed the results of simulation research on influence of multipath channel propagation and co channel interference on operations of LTE OFDMA receiver. (**Analysis of operations of LTE receiver in the presence of multipath signal propagation and co-channel interference.**)

Słowa kluczowe: odbiornik LTE OFDMA, symulacja LTE, propagacja wielodrogowa, zakłócenia wspólnokanałowe.

Keywords: LTE OFDMA receiver, LTE simulation, multipath channel, co-channel interference.

Wstęp

Standard LTE stanowi obecnie najnowocześniejszy będący w praktycznym użyciu system łączności komórkowej [1]. Zapewnia on bardzo duże szybkości transmisji i eliminuje bądź znacząco zmniejsza wady systemów wcześniejszych generacji. Dodatkowo wspiera usługi szerokopasmowe, umożliwiając szybkie transfery danych multimedialnych. System może pracować z różną szerokością kanału transmisyjnego – od 1,25 MHz do 20 MHz, osiągając przepływności danych rzędu do 100 MB/s dla użytkowników stacjonarnych i do 50 MB/s dla użytkowników ruchomych. Do elastyczność systemu przyczynia się także wykorzystanie techniki MIMO

Zalety te okupione zostały jednak znaczącą komplikacją systemu, zarówno w warstwie fizycznej jak i logicznej. LTE wykorzystuje m.in. takie techniki jak transmisja wielokanałowa (MIMO) z maksymalnie 4 strumieniami przestrzennymi, zwielokrotnienie OFDMA w kanale od stacji bazowej do użytkownika i SC-FDMA w kanale od użytkownika do stacji bazowej. Sieci LTE charakteryzują się wysokim współczynnikiem efektywności widmowej, ale uzyskanie dużych szybkości transmisji wymaga zastosowania modulacji wysokiego rzędu (np. 64QAM) co zwiększa także wymagany stosunek sygnału do szumu (SNR). Podczas transmisji radiowej sygnał podlega wielu rodzajom zakłóceń. Wśród nich można wymienić propagację wielodrogową oraz interferencje wspólnokanałowe będące przedmiotem badań prezentowanych w tym artykule. Badania te wykonano poprzez symulacje zrealizowane z wykorzystaniem pakietu LTE PHY Lab [2]. Mają one na celu określenie wrażliwości odbiornika LTE OFDMA na propagację wielodrogową oraz zakłócenia wspólnokanałowe.

Praca odbiornika LTE przy propagacji wielościeżkowej

Propagacja sygnału radiowego w rzeczywistych warunkach zazwyczaj przebiega wielościeżkowo. Spowodowane jest to obecnością w obszarze propagacji takich obiektów jak drzewa, budynki, pojazdy, wzniesienia terenu itp. W takim przypadku sygnał na wejściu odbiornika może być opisany jako splot sygnału nadawanego oraz odpowiedzi impulsowej kanału przez który nastąpiła propagacja sygnału.

Przy projektowaniu systemów komunikacji radiowej konieczne jest uwzględnienie odpowiedniego modelu kanału radiowego, który byłby jak najbardziej zbliżony do

rzeczywistych warunków propagacji fal radiowych na danych terenie. Istnieje wiele różnych modeli propagacji fal w kanałach radiowych. W badaniach prezentowanych w artykule wykorzystane zostały modele SUI oraz E-UTRA.

Model SUI (Stanford University Interim, [3]) stanowi zbiór modeli sześciu kanałów uwzględniających różne typy terenu, różne wartości przesunięcia Dopplera, a także fluktuacje opóźnienia sygnału oraz warunki bezpośrednio widoczności nadajnika i odbiornika (LOS – Line-of-Sight). Do modelowania sieci LTE wykorzystywany jest też model E-UTRA przedstawiony w [4].

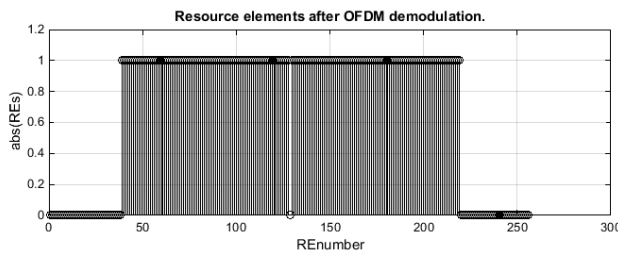
W technologii LTE kanał transmisyjny w kierunku od stacji bazowej do użytkownika ruchomego (tzw. kanał „w dół”, ang. *downlink channel*) wykorzystuje OFDM jako metodę zwielokrotnienia oraz różne typy modulacji fali nośnej (QPSK, 16QAM, 64QAM).

Standard LTE jest systemem bardzo złożonym i analiza jego pracy nie należy do łatwych zagadnień. Istnieje kilka dostępnych symulatorów pracy systemu LTE. Na licencji typu Open Source funkcjonuje oprogramowanie lte-sim. Umożliwia ono symulację środowiska złożonego z wielu komórek, z uwzględnieniem mobilności użytkowników i mechanizm handover. MATLAB od wydania R2014a zawiera LTE System Toolbox. W tym środowisku powstał także symulator LTE System Level Simulator, przeznaczony do celów niekomercyjnych i wykorzystania w środowisku akademickim. Innym symulatorem, wykorzystującym środowisko Matlab, służącym do analizy warstwy fizycznej, jest LTE PHY Lab, rozwijany przez firmę IS-Wireless [6].

Wpływ propagacji wielościeżkowej na skuteczność pracy odbiornika LTE OFDMA został określony poprzez badania symulacyjne wykonane przy użyciu pakietu oprogramowania LTE PHY Lab firmy IS Wireless [2]. Symulacje zostały przeprowadzone dla następujących parametrów łącza:

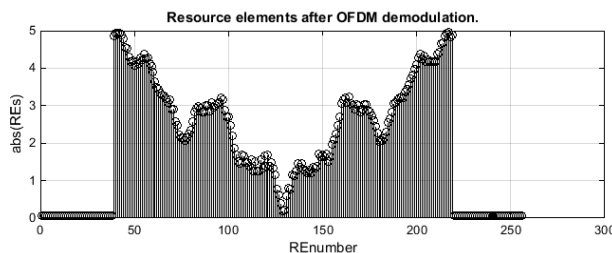
- pasmo kanału: 3MHz,
- rodzaj modulacji: QPSK,
- rozmiar bloku FFT: 256,
- liczba podramek w ramce LTE: 2,
- testowany kanał logiczny: PDCCH,
- liczba symboli OFDM w kanale PDCCH: 2.

Na rysunku 1 przedstawiono amplitudy wszystkich 256 RE (Resource Element) po demodulacji OFDM w przypadku braku zniekształceń wynikających z propagacji wielodrogowej.



Rys.1. Amplitudy zasobów RE sygnału nie zniekształconego

Na rysunku 2 przedstawiony jest sygnał po przejściu przez kanał opisany modelem SUI-3 przy braku szumu. Jak widać, w tym przypadku propagacja wielodrogowa spowodowała nierównomierność amplitudy poszczególnych elementów RE. Dla poprawnego dekodowania takiego sygnału konieczne jest zastosowanie procedur estymacji i wyrównywania kanału.



Rys.2. Amplitudy zasobów RE sygnału po przejściu przez kanał z propagacją wielodrogową

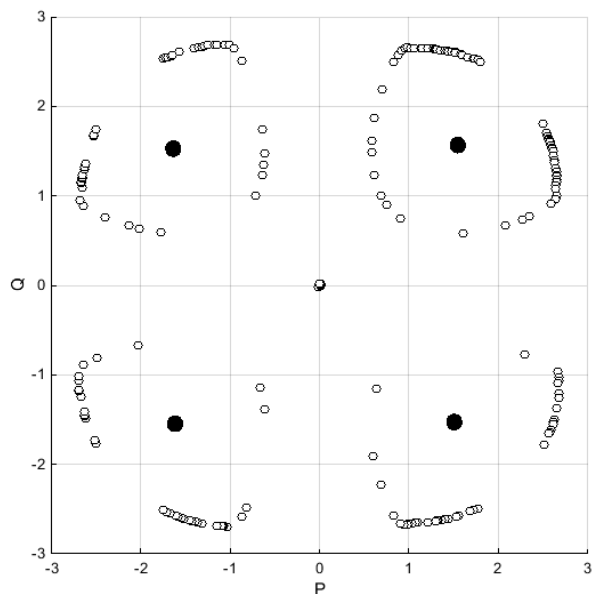
W tabeli 1 zestawiono graniczne wartości stosunku sygnał/szum (SNR) dla różnych modeli kanału. Wartości te wyznaczone poprzez ocenę wykresów konstelacji zdemodulowanych symboli QPSK i określenie wartości SNR przy której poziom rozrzutu nie powoduje jeszcze nakładania się symboli.

Tabela 1. Graniczne wartości SNR

Model kanału	Graniczna wartość SNR
SUI-1	32
SUI-2	33
SUI-3	36
SUI-4	43
SUI-5	35
SUI-6	32
E-UTRA Extended Pedestrian A model (EPA)	34
E-UTRA Extended Vehicular A model (EVA)	-
E-UTRA Extended Typical Urban model (ETU)	-

Na rysunku 3 przedstawiono konstelację zdemodulowanego sygnału QPSK. Nie wypełnione okręgi oznaczają konstelację zniekształconych symboli QPSK, a punkty wypełnione na czarno przedstawiają oryginalny sygnał. Jak można zauważyć, wielodrogowa propagacja spowodowała znacznie rozrzucenie położenia odebranych symboli QPSK.

Otrzymane wartości SNR wskazują, że największy wpływ propagacji wielościeżkowej został zaobserwowany dla modelu SUI-4. Model ten charakteryzuje się dużym przesunięciem Dopplera, niskim poziomem bezpośredniej widoczności nadajnika i odbiornika oraz silnymi odbiciami sygnału w terenie górzystym. Dla modeli E-UTRA EVA oraz E-UTRA ETU odebrany sygnał był zniekształcony w stopniu nie pozwalającym na poprawny odbiór nawet w przypadku braku szumu w kanale radiowym.

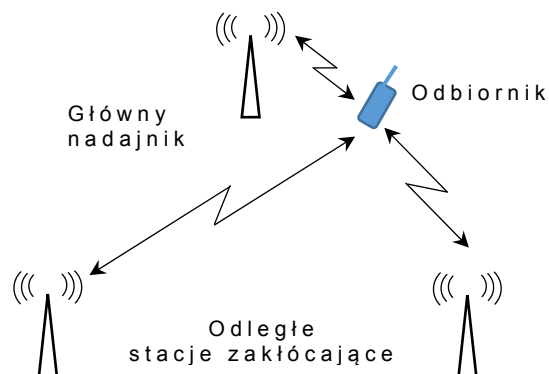


Rys.3. Konstelacje symboli QPSK sygnału oryginalnego i zniekształconego

Uzyskane rezultaty jednoznacznie wskazują na konieczność stosowania w systemie LTE procedur estymacji i wyrównywania kanału, bez których komunikacja często nie byłaby możliwa nawet przy całkowitym braku szumu w kanale.

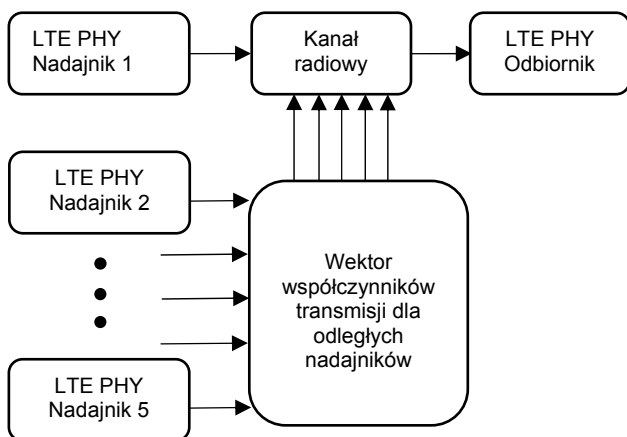
Wpływ zakłóceń wspólnokanałowych

Zakłócenia wspólnokanałowe stanowią jeden z czynników wpływających na pojemność systemu. Wynikają one z samej istoty systemu radiokomunikacji komórkowej – istnienia wielu komórek i ograniczonego zasobu kanałów częstotliwościowych. W takiej strukturze, wykorzystywane częstotliwości muszą się powtarzać w co którejś komórce. Powoduje to, że oprócz pożądanego sygnału, abonent odbiera także słabe sygnały niepożądane od odległych stacji wykorzystujących ten sam kanał częstotliwościowy, co przedstawiono na rysunku 4. Jest to szczególnie zauważalne w centrach miast, gdzie występują mikro- i femtokomórki, a odległość pomiędzy centrami komórek używających tych samych częstotliwości są wyraźnie mniejsza [5, 7]. Sytuacja ta powoduje powstanie zniekształceń sygnału, szczególnie dobrze widocznych na konstelacjach odbieranych sygnałów. Zakłócenia tego odbioru mogą być zredukowane poprzez odpowiedni dobór kształtu komórek i ich sektoryzację.



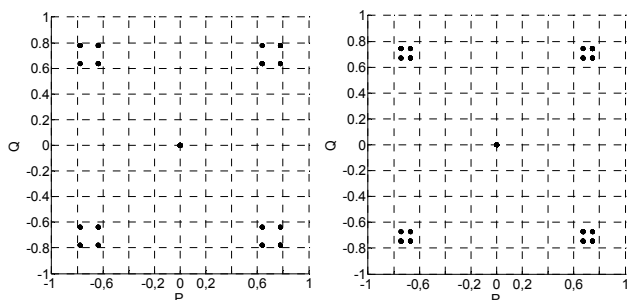
Rys.4. Struktura systemu radiokomunikacyjnego z zakłóceniami wspólnokanałowymi

Zakłócenia współkanałowe zostały zamodelowane w oparciu o układ pokazany na rysunku 5. Analizę, podobnie jak poprzednio przeprowadzono w pakiecie LTE PHY Lab firmy IS Wireless [2]. Zmianie podlegała moc sygnału od odległych nadajników, zmieniana poprzez zmianę wartości elementów wektora współczynników transmisji sygnałów.

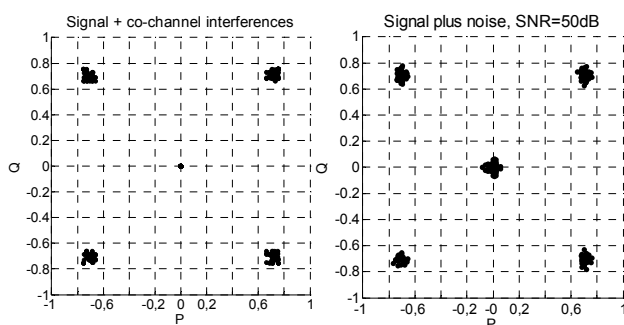


Rys. 5. Model systemu do analizy zakłóceń współkanałowych

Analiza została przeprowadzona dla dwóch przypadków sygnałów interferujących: jednego sygnału interferującego, dominującego oraz dla kilku sygnałów interferujących o różnych poziomach.



Rys. 6. Konstelacje sygnałów dla jednego sygnału interferującego o poziomie 10 % i 5 % mocy sygnału oryginalnego.



Rys.7. Konstelacje sygnałów dla wielu sygnałów interferencji współkanałowych w porównaniu z konstelacją dla sygnału z szumem o SNR=50 dB.

Wyniki analizy dla pierwszego przypadku przedstawiono na rysunku 6. Widoczne jest, że istnienie interferencji współkanałowej powoduje pojawienie się dodatkowych punktów na konstelacji odebranych symboli QPSK, zgrupowanych wokół oryginalnego punktu (na rysunku nie został pokazany). Dodatkowe punkty układają się

symetrycznie tworząc „kwadrat”, o boku proporcjonalnym do mocy sygnału zakłócającego.

Wyniki analizy dla drugiego przypadku – wielu niepożądanych sygnałów współkanałowych – przedstawiono na rysunku 7. Analizy zostały przeprowadzone dla czterech stacji interferujących ze stacją główną, wektor współczynników transmisji sygnałów miał następującą postać [1, 0.03, 0.015, 0.018, 0.002] (pierwszy element oznacza stację główną).

Interferencje współkanałowe powodują rozrzucenie odebranych symboli QPSK. Na rysunku 7 przedstawiono także konstelacje dla sygnału z szumem przy SNR=50 dB. Porównując oba rysunki, widzimy, że rozkłady sygnałów w konstelacjach są zbliżone. Oznacza to, że w istocie, zgodnie z teorią, interferencje mogą być traktowane jak szum, zakłócający poprawny odbiór sygnału. Dla przyjętego wektora sygnałów w systemie odpowiada on mniej więcej szumowi o SNR=50 dB. Dla większej ilości sygnałów interferujących, rośnie moc wypadkowa szumu i rozrzut sygnałów będzie większy, co spowoduje zwiększenie BER.

Podsumowanie

Wykonane badania symulacyjne wykazały, że zjawisko wielodrogowej propagacji sygnału radiowego powoduje znaczną nierównomierność poziomu odebranych elementów RE. W przypadku modeli SUI, które praktycznie mogą być traktowane jako częstotliwościowo nieselektywne możliwy jest odbiór sygnału nawet bez operacji estymacji i wyrównywania kanału. Jednak dla modeli E-UTRA (rekomendowanych do systemów LTE), które dają wyniki bardziej zbliżone do rzeczywistych fizycznych kanałów poprawne dekodowanie odebranego sygnału wymaga implementacji odpowiednich algorytmów estymacji i wyrównywania kanału.

Istnienie interferencji współkanałowych powoduje także zmiany w konstelacji i przy dużej ilości sygnałów zakłócających powodują zwiększenie BER, a w konsekwencji zmniejszenie prędkości transmisji w systemie. Zakłócenia te w istocie mogą być traktowane jak dodatkowy szum, pogarszający wartość SNR.

Publikacja finansowana z pracy S/WE/1/2015, Wydział Elektryczny Politechniki Białostockiej.

Autorzy: dr inż. Maciej Sadowski, dr inż. Andrzej Zankiewicz, Politechnika Białostocka, Katedra Telekomunikacji i Aparatury Elektronicznej, ul. Wiejska 45d, 15-351 Białystok, E-mail: m.sadowski@pb.edu.pl, a.zankiewicz@pb.edu.pl.

LITERATURA

- [1] Cox C., *An Introduction to Lte: Lte, Lte-Advanced, Sae, Volte and 4g Mobile Communications*, second edition, Wiley 2014
- [2] <http://is-wireless.com>
- [3] Erceg V. i inni, *Channel Models for Fixed Wireless Applications*, Rev. 4.0, IEEE 802.16.3 Task Group Contributions 2001
- [4] 3GPP TS 36.101, "User Equipment (UE) radio transmission and reception, Release 12," section B.2, March 2015
- [5] Wesolowski K., *Systemy radiokomunikacji ruchomej*, WKiŁ, Warszawa 2006
- [6] Bułat J., *Telefonia cyfrowa LTE 4G*, w: Zieliński T.P. (red), *Cyfrowe przetwarzanie sygnałów w telekomunikacji*, PWN, Warszawa 2014
- [7] Parruca D., Gross J., On the interference as noise approximation in OFDMA/LTE networks, IEEE Int. Conf. on Communication, ICC'2014, 2513-2519