

KASPRZYK Zbigniew¹
RYCHLICKI Mariusz²

Analiza standardu transmisji bezprzewodowej urządzeń mobilnych wykorzystywanych w procesie magazynowania

WSTĘP

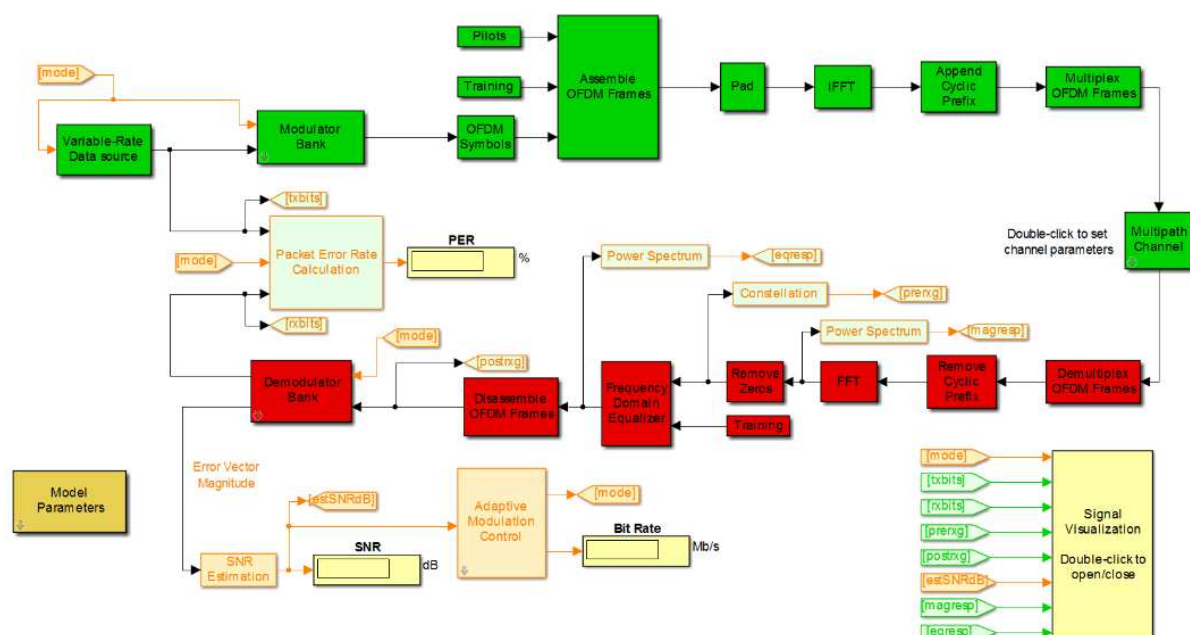
Proces magazynowania wymaga stosowania coraz bardziej rozbudowanych instrumentów wspomagających jego szybkie i niezawodne działanie. Standardem jest stosowanie rozwiązań technicznych wykorzystujących bezprzewodową komunikację pomiędzy urządzeniem do automatycznej identyfikacji produktów oraz stacją bazową. Dużą zaletą systemu bezprzewodowego jest jego mobilność i elastyczność w procesie kompatybilności z innymi urządzeniami technologii mobilnej w magazynach. Oczywiście warunkiem powodzenia tego rozwiązania jest poprawnie działający system WiFi. Nowoczesne urządzenia mobilne, jak ręczne czytniki RFID, działają w standardzie WLAN 802.11a/b/g, gdzie szybkość transmisji danych wynosi odpowiednio dla standardu 802.11a do 54Mb/s, 802.11b do 11Mb/s oraz 802.11g do 54Mb/s. Standardem całkowicie zgodnym w dół jest standard 802.11g [1] i pracuje on podobnie jak 802.11b na częstotliwości 2,4 GHz, ale pozwala na transfer danych z prędkością 54Mb/s. Podawane przez producentów szybkości transmisji danych są praktycznie nieosiągalne w rzeczywistych warunkach pracy magazynu logistycznego. Poprawność i niezawodność transmisji bezprzewodowej pomiędzy stacją bazową a urządzeniem mobilnym w dużej mierze usprawnia proces kompletowania towaru w magazynie. Uzasadnione wydaje się zatem podjęcie badań mających na celu określenie jakości transmisji bezprzewodowej w różnych warunkach eksploatacyjnych. W niniejszym artykule podjęto próbę analizy modelu warstwy fizycznej standardu WLAN 802.11g jako protokołu transmisji danych urządzeń mobilnych wykorzystywanych w procesie magazynowania.

1. MODEL WARSTWY FIZYCZNEJ STANDARDU WLAN 802.11g

Warstwę fizyczną standardu WLAN 802.11g, odpowiedzialną za transmisję danych, można przedstawić w postaci modelu wykonanego w środowisku Matlab/Simulink. Symulacja działania modelu pozwala prześledzić metody nadawania oraz odbiór danych przez medium radiowe pomiędzy nadajnikiem i odbiornikiem w różnych warunkach eksploatacyjnych. Model przedstawia realizację modulacji OFDM (ang. *Orthogonal Frequency Division Multiplexing*) z fazowymi i amplitudowo-fazowymi modulacjami podnośnymi oraz efektem wielodrogowego zaniku sygnału, zależnego od warunków pogodowych i częstotliwości. W modelu zasymulowano zjawisko zanikania sygnału tak aby zauważalnie dokonywać zmian szybkości transmisji danych. Model zawiera niezbędne elementy cechujące standard WLAN 802.11g [1]. Schemat modelu warstwy fizycznej standardu WLAN 802.11g wykonany w środowisku Matlab/Simulink przedstawiono na rysunku 1. W modelu tym wykorzystano elementy modelu warstwy fizycznej standardu 802.11a, zaprezentowanego w materiałach szkoleniowych oprogramowania Matlab/Simulink, dodając dodatkowe moduły z pakietu Communications System Toolbox oraz zmieniając znacznie parametry symulacji. Na rysunku 1 elementy znajdujące się na górze schematu zaznaczone kolorem zielonym należą do części nadawczej realizującej łączność bezprzewodową standardu WLAN 802.11g. Elementy znajdujące się w dolnej części schematu zaznaczone kolorem czerwonym należą do części odbiorczej układu.

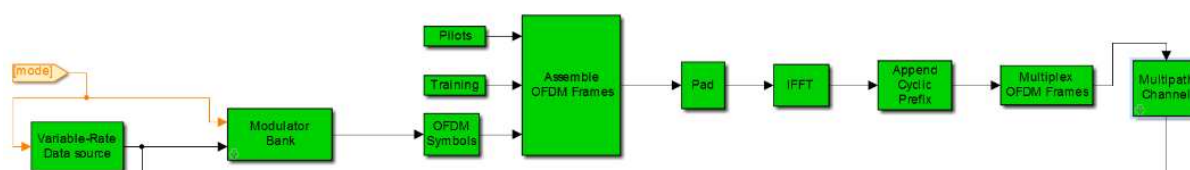
¹ Politechnika Warszawska, Wydział Transportu, Zakład Telekomunikacji w Transporcie, ul. Koszykowa 79, 02-008 Warszawa, zka@wt.pw.edu.pl

² Politechnika Warszawska, Wydział Transportu, Zakład Telekomunikacji w Transporcie, ul. Koszykowa 79, 02-008 Warszawa, mry@wt.pw.edu.pl



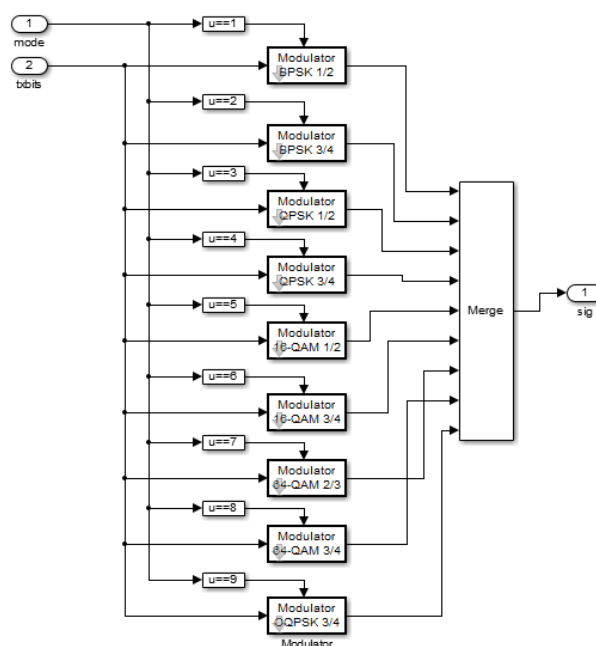
Rys. 1. Model warstwy fizycznej standardu WLAN 802.11g

Na rysunku 2 przedstawiono część nadawczą modelu warstwy fizycznej standardu WLAN 802.11g wykorzystującą ortogonalne zwielokrotnienie w dziedzinie częstotliwości OFDM.



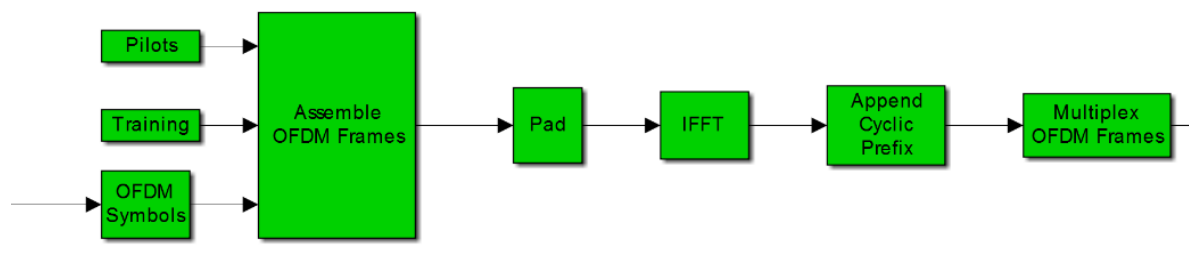
Rys. 2. Część nadawcza modelu warstwy fizycznej standardu WLAN 802.11g

Model systemu WLAN 802.11g w części nadawczej generuje losowe dane o szybkości transmisji zmieniającej się podczas symulacji. Zmiana szybkości transmisji losowych danych następuje w bloku źródła danych. Kodowanie i modulacja z wykorzystaniem jednego z kilku systemów określonego w normie IEEE 802.11g następuje w bloku modulatora przedstawionego na rysunku 3. W bloku modulatora możliwe jest zastosowanie modulacji amplitudowej 16-QAM oraz 64-QAM, lub fazowej QPSK, OQPSK, DQPSK i BPSK. W celu korekcji błędów zastosowano różne stopnie splotowego kodowania nadmiarowego: 1/2, 2/3 i 3/4. Rodzaje wersji modulacji są zmieniane w zależności od kodowania ilości bitów na symbol OFDM. W przypadku kodowania 1 bitu na symbol stosowana jest modulacja BPSK, 2 bitów na symbol stosowana jest modulacja QPSK, 4 bitów na symbol modulacja 16-QAM, 6 bitów na symbol modulacja 64-QAM, 8 bitów na symbol modulacja DQPSK oraz 16 bitów na symbol modulacja OQPSK. Przykładowo w wersji 6 Mb/s w procesie kodowania i modulacji bity danych są grupowane po 24 bity. Każda grupa jest przekształcana w symbol OFDM zawierający 48 bitów, każdy z symboli jest nadawany na jednej z 48 podnośnych z modulacją BPSK przy szybkości 250 kHz ($24 \text{ bitów danych} \times 250 \text{ kHz} = 6 \text{ Mb/s}$). Podobnie w wersji 9 Mb/s bity danych są grupowane po 36 bitów. Każda grupa jest przekształcana w symbol OFDM zawierający 48 bitów, każdy symbol jest nadawany z modulacją BPSK przy szybkości 250 kHz ($36 \text{ bitów danych} \times 250 \text{ kHz} = 9 \text{ Mb/s}$). Proces ten odbywa się analogicznie w pozostałych trybach pracy modulatora wykorzystując modulacje DQPSK i OQPSK. Proces modulacji OFDM jest realizowany przy pomocy FFT⁻¹ o parametrach: częstotliwość próbkowania 20 MHz w 64 punktach. W systemie OFDM 48 podnośnych jest używane dla danych, 4 dla sygnałów pilota a 12 jest niewykorzystywanych.



Rys. 3. Wnętrze bloku modulatora części nadawczej modelu WLAN 802.11g

Sygnały pilota są używane do detekcji ramki, oszacowania offsetu częstotliwości fali nośnej i oceny jakości kanału. Realizacja modulacji OFDM wraz z procesem detekcji ramki przez sygnały pilota odbywa się przez bloki modelu zaprezentowane na rysunku 4.

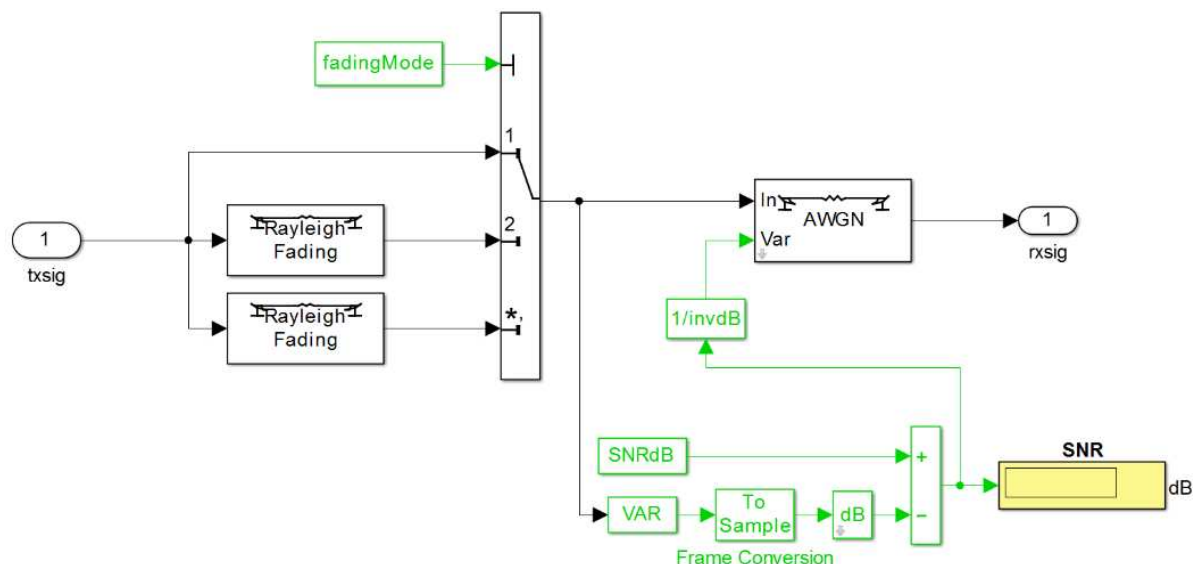


Rys. 4. Bloki modelu realizujące proces modulacji OFDM

W stosowanych w OFDM modulacjach informację o transmitowaniu symbolu przenosi zarówno faza sygnału jak i jego amplituda. Efektem wielodrogowości sygnału jest powstawanie zaników (fading), które negatywnie wpływają na amplitudę sygnału. Sygnał odniesienia transmitowany przez kanały pilotowe (pilots) umożliwiają badanie stanu kanału, oraz demodulację sąsiadujących z nimi podkanałów.

Pomiędzy częścią nadawczą i odbiorczą modelu znajduje się blok multipath channel. Symulacja ważnego procesu wielodrogowości sygnału wraz z charakterystycznymi dla tego procesu zjawiskami odbywa się w bloku multipath channel modelu. Wnętrze tego bloku przedstawiono na rysunku 5. W bloku tym jest możliwość określenia parametrów dla zaników sygnału:

- tryb powstawania zaników sygnałowych:
 - brak zaników sygnału,
 - płaskie zaniki sygnału,
 - zjawisko dyspersji sygnału.
- maksymalna wartość przesunięcia dopplerowskiego wynikającego z efektu Dopplera [Hz],
- wartość SNR dla kanału [dB].



Rys. 5. Wnętrze bloku multipath channel modelu WLAN 802.11g

Do najbardziej znanych modeli kanału z zanikami należą modele Rayleigh'a oraz kanał z zanikami Rician'a. Model Rayleigh'a został zastosowany do symulacji powstawania zaników sygnałowych w opisywanym przykładzie. Realizacja tego modelu zakłada, że profil opóźnień i mocy widma Dopplera w danym kanale jest rozłączny [2]. Niech s_i oznacza zbiór próbek na wejściu do kanału. Wtedy próbki na wyjściu z kanału y_i spełniają następującą zależność [2]:

$$y_i = \sum_{n=N_1}^{N_2} s_{i-n} g_n \quad (1)$$

gdzie g_n jest określone jako:

$$g_n = \sum_{k=1}^K a_k \sin c \left[\frac{\tau_k}{T_s} - n \right], -N_1 \leq n \leq N_2 \quad (2)$$

gdzie: T_s jest okresem próbki wprowadzanej do kanału, τ_k jest zbiorem opóźnień ścieżek próbek w kanale z zanikami sygnałowymi, a_k jest zbiorem złożonych wzmacnień próbek w kanale z zanikami sygnałowymi.

Poniższa zależność określa dystrybuantę prawdopodobieństwa zaniku sygnału [5]:

$$F(p) = 1 - e^{-p \cdot p} \quad (3)$$

gdzie: $p = \frac{s_y}{s_x}$, s_y - sygnał odebrany, s_x - sygnał odniesienia (bez zaników)

Symulacja zjawiska zaników Rayleigh'a jest możliwa zatem poprzez odwrotność zależności (3) i wyrażenia otrzymanej wartości w [dB] [5]:

$$\Psi = -20 \log \sqrt{-\ln(1-x)} \text{ [dB]} \quad (4)$$

gdzie: Ψ - zanik sygnału, x - zmienna losowa rozkładu jednostajnego w przedziale (0;1)

Kolejnym niekorzystnym zjawiskiem związanym z transmisją bezprzewodową jest przesunięcie dopplerowskie wynikające z efektu Dopplera również zasymulowane w tym przykładzie. Dla

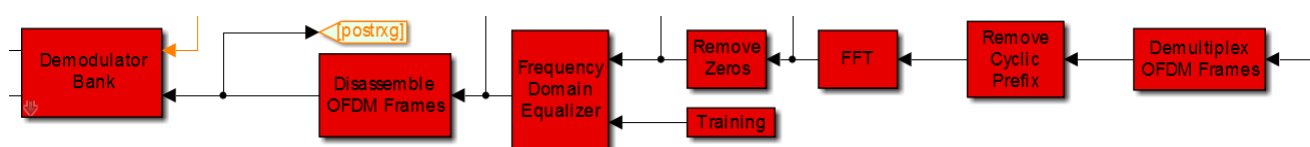
urządzeń bezprzewodowych, takich jak standardowy GSM, efekt przesunięcia Dopplera określa się w następujący sposób [6]:

$$f_d = \frac{vf}{c} [\text{dB}] \quad (5)$$

gdzie: v - prędkość poruszającego się urządzenia mobilnego, f - wartość częstotliwości nośnej transmisji [Hz], c - prędkość światła w próżni [m/s]

Na podstawie zależności (5) w odniesieniu do prędkości poruszającego się urządzenia mobilnego wysyłającego sygnał, maksymalne przesunięcie dopplerowskie sygnału wysyłanego z poruszającego się pojazdu na autostradzie może wynosić 80 [Hz]. Sygnał wysyłany z urządzenia mobilnego będącego w posiadaniu poruszającego się pieszego może ulec maksymalnemu przesunięciu dopplerowskiemu w zakresie około 4 [Hz]. Wartości te zakładają wartość częstotliwości nośnej transmisji 900 MHz [4].

Całkowity sygnał odpowiednio poddany zjawiskom związanym z wielodrogowością sygnału i zjawiskiem Dopplera, odbierany jest przez część odbiorczą modelu warstwy fizycznej standardu WLAN 802.11g. Część odbiorcza reprezentowana jest przez bloki modelu zaprezentowane na rysunku 6.



Rys. 6. Część odbiorcza modelu warstwy fizycznej standardu WLAN 802.11g

W części odbiorczej modelu warstwy fizycznej standardu WLAN 802.11g następuje demultipleksacja całkowitego sygnału składającego się z bloków OFDM. W następnym kroku wykonywana jest szybka transformata Fourier'a FFT, demodulacja sygnałów oraz detekcja symboli OFDM. Otrzymane N równoległych strumieni łączonych jest w jeden pierwotny ciąg bitów.

2. SYMULACJA MODELU

Proces symulacji modelu wykonanego w środowisku Matlab/Simulink jest możliwy po wprowadzeniu odpowiednich danych wejściowych do modelu. Dane wejściowe są wprowadzane poprzez uruchomienie S-funkcji z poziomu modelu wykonanego w środowisku Simulink, lub też możliwe jest bezpośrednie wprowadzenie danych w polach edycyjnych poszczególnych bloków modelu. Parametry modelu wprowadzane do symulacji mogą być określone w bloku Model Parameters i w bloku Multipath channel przedstawionym na rysunku 1. Dane wejściowe charakterystyczne dla standardu 802.11g zadeklarowane do symulacji to:

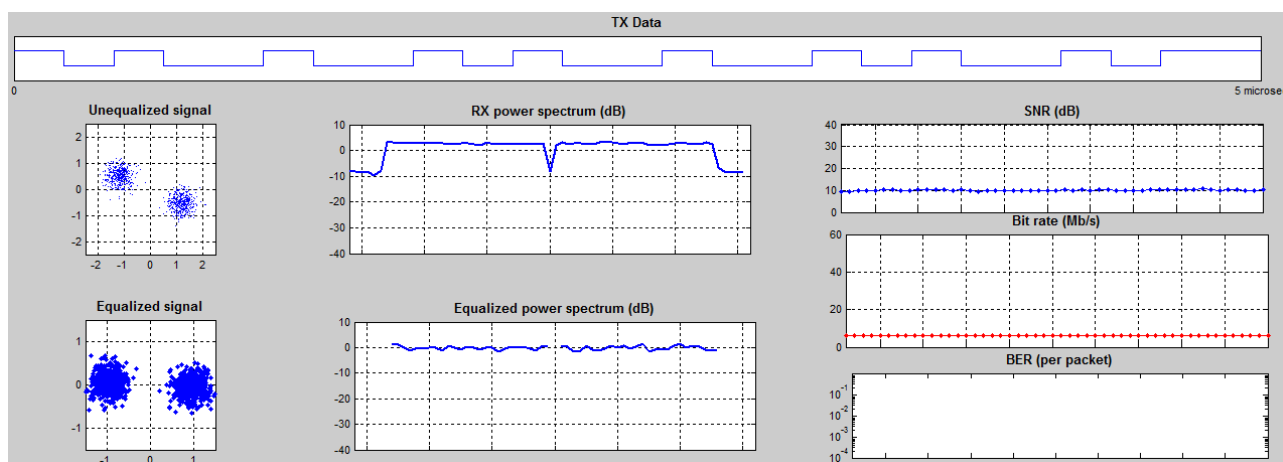
- liczba bitów OFDM na transmitowany blok (48 bitów dla standardu 802.11g),
- liczba bitów OFDM wraz z bitami dla sygnałów pilota ($48 + 4 = 52$ bity dla standardu 802.11g),
- liczba bitów na cykliczny prefiks (16 bitów dla standardu 802.11g),
- liczba punktów dla których jest realizowana szybka transformata Fourier'a FFT (64 punkty dla standardu 802.11g),
- współczynnik histerazy dla modulacji adaptacyjnej [dB],
- głębokość decyzji algorytmu Viterbiego do dekodowania kodów spłotowych,
- wartości progowe SNR (signal-to-noise ratio) dla różnych systemów modulacji zastosowanych w modelu,
- tryb powstawania zaników sygnałowych,
- maksymalna wartość przesunięcia dopplerowskiego wynikającego z efektu Dopplera [Hz],
- wartość SNR [dB] dla kanału.

Obserwacja wyników symulacji odbywa się z wykorzystaniem wyświetlaczy oraz modułu Signal Visualization umożliwiającego graficzną reprezentację wyników. Symulacja pozwala na otrzymanie następujących danych wyjściowych reprezentowanych w graficznej formie jak jest to przedstawione na rysunku 7:

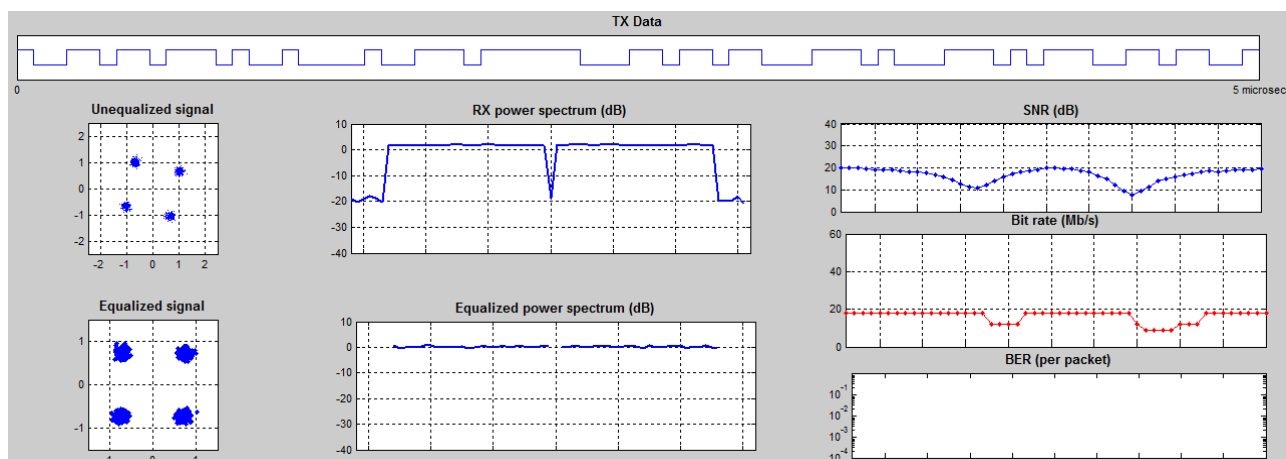
- porcja losowo wysyłanych danych binarnych, mająca na celu obserwację zmiennej szybkości transmisji danych w kanale,
- wykresy punktowe dla sygnału przed i po equalizacji (korekcji). Wykresy punktowe umożliwiają określić jaki rodzaj modulacji jest aktualnie używany w protokole transmisji 802.11g, ponieważ wykres reprezentuje diagram konstelacji poszczególnych modulacji składający się z 2, 4, 16 lub 64 punktów konstelacyjnych,
- widmo mocy odbieranego sygnału przed i po equalizacji (korekcji),
- oszacowana wartość SNR (signal-to-noise ratio) na podstawie wielkości wektora błędów,
- prędkość transmisji danych (bit rate),
- bitowa stopa błędów na transmitowany blok danych (Bit Error Rate per packet),
- pakietowa stopa błędów (packet error rate),
- wartość stosunku sygnału do szumu SNR (signal-to-noise ratio),
- prędkość transmisji danych (bit rate) pokazuje które z przepływności określonych w standardzie jest obecnie w użyciu.

Na wykresach poniżej, przedstawiono wyniki symulacji modelu dla następujących danych wejściowych charakterystycznych dla standardu 802.11g:

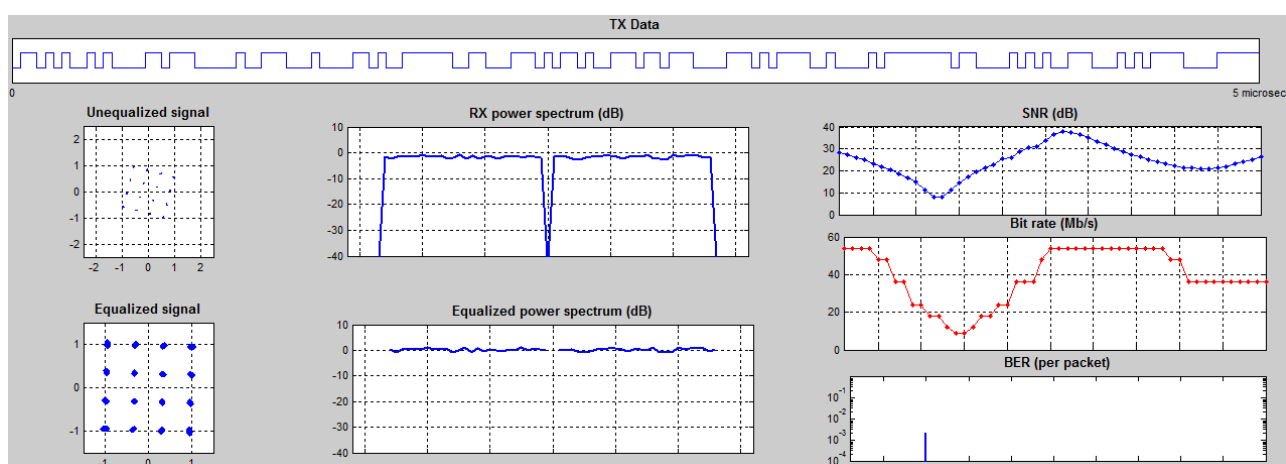
- liczba bitów OFDM na transmitowany blok = 48 bitów,
- liczba bitów OFDM wraz z bitami dla sygnałów pilota = 52 bity,
- liczba bitów na cykliczny prefiks = 16 bitów,
- liczba punktów dla których jest realizowana FFT = 64 punkty.
- maksymalna wartość przesunięcia dopplerowskiego = 180 [Hz],
- płaskie zaniki sygnału (flat fading),
- zmiana wartości stosunku sygnału do szumu odpowiednio: 10, 20, 40 [dB]



Rys. 7a. Wyniki symulacji dla wartości SNR = 10 [dB], transmisja 6 Mb/s



Rys. 7b. Wyniki symulacji dla wartości SNR = 20 [dB], transmisja 18 Mb/s



Rys. 7c. Wyniki symulacji dla wartości SNR = 40 [dB] transmisja 54 Mb/s

Analizując zaprezentowane i otrzymane wyniki symulacji można zaobserwować iż zjawisko zaników sygnału znacząco wpływa na poprawność demodulacji sygnału w standardzie WLAN 802.11g szczególnie przy dużych wartościach SNR. Dynamika zmian widma mocy odbieranego sygnału zależy od parametru zaników sygnałowych (rysunek 7a i 7c). Diagramy konstelacji przedstawione na rysunkach powyżej są reprezentacją graficzną sygnału zmodulowanego cyfrowo. Po odebraniu sygnału, demodulator sprawdza otrzymany symbol, który mógł zostać przekłamaný przez kanał lub odbiornik. Analiza jakości sygnału na konstelacji w trakcie symulacji wykazała w szczególności zjawisko białego szumu obrazowanego jako rozmycie punktów konstelacji oraz zjawisko szumu fazowego jest obrazowany jako rozciągnięcie punktów konstelacji po łuku. Zastosowanie metody ortogonalnego zwielokrotnienia w dziedzinie częstotliwości OFDM powoduje wrażliwość na efekt Dopplera oraz problemy z synchronizacją częstotliwości nośnej. Dodatkowo występuje obniżona efektywność transmisji danych wynikająca z zastosowania cyklicznego prefiksu (rysunek 7b i 7c). Uzyskanie wysokich wartości transmisji danych na poziomie 54 Mb/s jest trudne ze względu na duże obciążenia i szумы występujące podczas transmisji (rysunek 7c).

WNIOSKI

Przeprowadzone badania symulacyjne w środowisku Matlab/Simulink działania warstwy fizycznej standardu WLAN 802.11g pozwoliły na określenie jakości transmisji bezprzewodowej w różnych warunkach eksploatacyjnych. Transmisja danych w standardzie WLAN 802.11g, szczególnie dla górnych wartości transmisji danych, jest wysoce podatna na zaniki sygnału oraz zjawisko efektu Dopplera. Jest to szczególnie ważne w przypadku stosowania urządzeń mobilnych w pomieszczeniach zamkniętych jakimi są magazyny logistyczne, gdzie występuje bardzo wiele źródeł interferencji

i zaników sygnału. Występowanie zjawiska zaników sygnału negatywnie wpływa na amplitudę sygnału radiowego. Uzyskiwanie górnych wartości transmisji danych na poziomie 54 Mb/s w badanym standardzie jest trudne ze względu na występowanie szumów podczas transmisji danych w tym standardzie.

Streszczenie

W artykule zwrócono uwagę na zastosowanie standardu sieci bezprzewodowej WLAN 802.11g w urządzeniach mobilnych wykorzystywanych w procesie magazynowania. Podawane przez producentów szybkości transmisji danych są praktycznie nieosiągalne w rzeczywistych warunkach pracy magazynu logistycznego. Poprawność i niezawodność transmisji bezprzewodowej pomiędzy stacją bazową a urządzeniem mobilnym w dużej mierze usprawnia proces kompletowania towaru w magazynie. Uzasadnione wydaje się zatem podjęcie badań mających na celu określenie jakości transmisji bezprzewodowej w różnych warunkach eksploatacyjnych. W niniejszym artykule podjęto próbę analizy modelu warstwy fizycznej standardu WLAN 802.11g jako protokołu transmisji danych urządzeń mobilnych wykorzystywanych w procesie magazynowania.

Analysis of the transmission standard used for wireless mobile devices in the process of storage

Abstract

The article focuses on the use of standard 802.11g WLAN in mobile devices used in the process of storage. Reported by the manufacturers data rates is practically unobtainable in real operating conditions of the logistics magazine. The correctness and reliability of wireless transmission between the base station and the mobile device largely streamlines the process of assembling the product in stock. It seems reasonable, therefore, to undertake research to determine the quality of wireless transmission in different operating conditions. This article attempts to analyze the model of the physical layer standard 802.11g WLAN as a data transfer protocol of mobile devices used in the process of storage.

BIBLIOGRAFIA

1. IEEE Std 802.11g – 2003.
2. Jeruchim M. C., Balaban, P., and Shanmugan, K. S., Simulation of Communication Systems, Second Edition, New York, Kluwer Academic/Plenum, 2000.
3. Matthew S. Gast, 802.11 Wireless Networks: The Definitive Guide (O'Reilly Networking), 2002.
4. Shelby, K., Haisch, H., Wang, J., Ho, M.-J., IEEE 802.11g OFDM WLAN throughput performance, Vehicular Technology Conference, 2003. VTC 2003-Fall. 2003 IEEE 58th (Volume:4).
5. Systemy szerokopasmowe z celowym rozpraszaniem widma, Projekt nr 2., Kontrola mocy w standardzie CDMAOne, Wydział Elektroniki i Technik Informacyjnych Politechniki Warszawskiej, Warszawa 2010.
6. <http://www.mathworks.com/help/comm/ug/fading-channels.html>.