

**Sławomir J. Ambroziak, Krzysztof K. Cwalina,
Piotr Rajchowski**
Politechnika Gdańska

ANALIZA WSPÓŁCZYNNIKA DYSKRYMINACJI POLARYZACJI SKROŚNEJ DLA SIECI BAN W CYLINDRYCZNYM ŚRODOWISKU REWERBERACYJNYM

STRESZCZENIE

W referacie przedstawiono analizę współczynnika dyskryminacji polaryzacji skośnej XPD dla sieci nasobnych BAN pracujących w cylindrycznym środowisku rewerberacyjnym. Analiza została przeprowadzona na podstawie wyników badań pomiarowych wąskopasmowego kanału radiowego typu off-body na częstotliwości 2,45 GHz. Dowiedziono, że występuje zależność wartości współczynnika dyskryminacji polaryzacji skośnej od istnienia składowej bezpośredniej sygnału odbieranego.

Słowa kluczowe: sieci BAN, depolaryzacja, współczynnik dyskryminacji polaryzacji skośnej, XPD, cylindryczne i rewerberacyjne środowisko propagacyjne;

WSTĘP

Sieci BAN (*Body Area Networks*) – jako sieci krótkiego zasięgu, które mogą pracować zarówno wewnątrz ludzkiego ciała, jak i na jego powierzchni oraz w bezpośrednim jego otoczeniu [1] – stanowią obecnie bardzo obiecujące rozwiązanie, którego potencjalne zastosowania nie ograniczają się jedynie do przemysłu rozrywkowego, czy do identyfikacji użytkownika, ale mogą obejmować aplikacje medyczne, jak na przykład monitorowanie stanu zdrowia pacjentów i osób starszych [2]. Projektowanie sieci BAN, podobnie jak w przypadku każdej innej sieci bezprzewodowej, powinno być poprzedzone analizą właściwości kanału radiowego dla określonego zakresu częstotliwości, dla docelowego środowiska propagacyjnego oraz dla przewidywanych scenariuszy działania sieci. Z tego powodu istnieje potrzeba prowadzenia badań propagacyjnych dla systemów radiowych nowego typu,

pracujących w nowych pasmach częstotliwości i/lub w nowych, nierozpatrywanych dotychczas środowiskach [3], takich jak cylindryczne środowisko rewerberacyjne, stanowiące przedmiot niniejszego referatu.

Jednym z kluczowych zjawisk propagacyjnych jest zjawisko depolaryzacji, które stanowi przyczynę niedopasowania polaryzacyjnego pomiędzy anteną odbiorczą a oddziałującym na nią polem elektrycznym. Ogólnie rzecz ujmując skala depolaryzacji w kanale radiowym zależy od środowiska propagacyjnego (jego geometrii i właściwości elektrycznych), charakterystyk promieniowania anten łącza radiowego, warunków propagacyjnych oraz mobilności użytkownika [4].

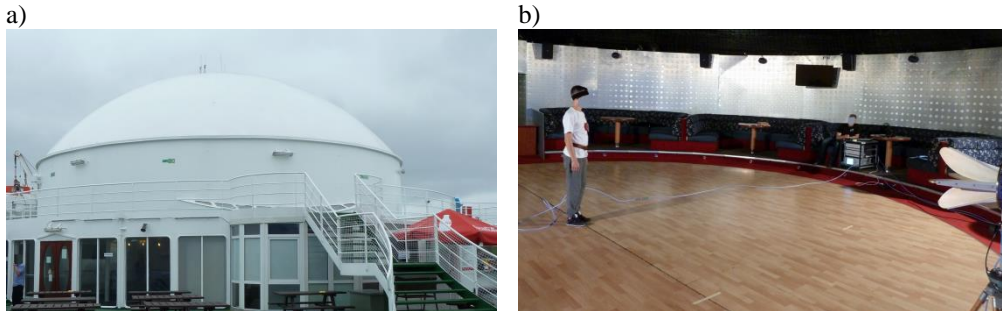
Niniejszy referat dotyczy nietypowego środowiska propagacyjnego, jakim jest sala dyskotekowa na promie pasażerskim, zbudowana na planie koła i z hemisferycznym dachem, przy czym zarówno ściany, jak i sufit oraz dach wykonane zostały z metalowych elementów. Taka konstrukcja pozwala traktować to środowisko jako rewerberacyjne, w którym zachodzą wielokrotne odbicia fal radiowych. Środowisko promu pasażerskiego zostało już częściowo opisane, np. w [5] zaprezentowano wyniki pomiarów tłumienia propagacyjnego w kabinie pasażerskiej, a w [6] zaproponowano empiryczne wąsko- i szerokopasmowe modele kanału radiowego dla korytarza. Środowisko przedstawione w niniejszym referacie stanowiło przedmiot badań w [7], ale ta praca dotyczyła charakterystyki zaników szybkozmiennych bez uwzględnienia zjawiska depolaryzacji. W takim stanie rzeczy celem niniejszego referatu jest analiza zjawiska depolaryzacji (z wykorzystaniem współczynnika dyskryminacji polaryzacji skośnej) w wąskopasmowym kanale radiowym typu *off-body* na częstotliwości 2,45 GHz dla tego właśnie środowiska propagacyjnego.

BADANIA POMIAROWE

Badania pomiarowe zostały przeprowadzone na promie pasażerskim MF-WAWEL podczas rejsu po Morzu Bałtyckim z Gdańska do Nynäshamn.

Wygląd zewnętrzny badanego środowiska został zaprezentowany na rys. 1a. Zarówno ściany, jak i sufit oraz podłoga zostały wykonane ze stali, jednakże wewnątrz były one częściowo pokryte materiałami dielektrycznymi, takimi jak dywan, drewniany parkiet, tapety, itp. Wewnątrz znajdowały się także elementy umeblowania typowego dla barów i dyskotek – są one widoczne na rys. 1b. Promień cylindra wynosił 8 m, a jego wysokość 2,5 m. Natomiast wysokość hemisferycznego sufitu w jego najwyższym punkcie wynosiła 7,3 m.

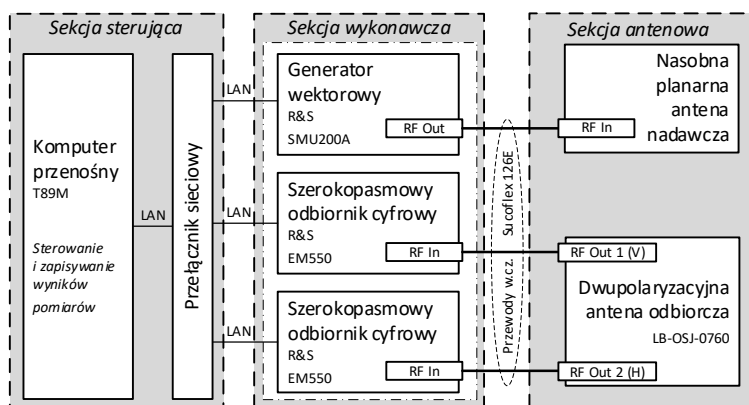




Rys. 1. Badane środowisko propagacyjne: a) widok z zewnątrz, b) widok wewnątrz [10]

Podczas pomiarów w pomieszczeniu nie było innych osób, poza użytkownikiem sieci i operatorem stanowiska pomiarowego.

Pomiary zostały wykonane z wykorzystaniem stanowiska pomiarowego, którego schemat blokowy przedstawiono na rys. 2. Stanowi ono część uniwersalnego stanowiska pomiarowego do badania kanałów radiowych opisanego w [8], w konfiguracji do pomiarów tłumienia systemowego w sieciach BAN z polaryzacyjnym odbiorem zbiorczym.



Rys. 2. Schemat blokowy stanowiska pomiarowego

Stanowisko pomiarowe było podzielone na trzy części: sekcję sterującą, wykonawczą i antenową. W skład sekcji sterującej wchodził komputer przenośny z dedykowanym oprogramowaniem, który odpowiedzialny był za sterowanie sekcją wykonawczą oraz za zapisywanie wyników pomiarów. Sekcja wykonawcza składała się z generatora R&S SMU200A, pracującego jako nadajnik oraz z dwóch szerokopasmowych odbiorników R&S EM550, które mierzyły moc odbieraną w tym samym czasie, przy czym okres pomiędzy poszczególnymi pomiarami był zmienny

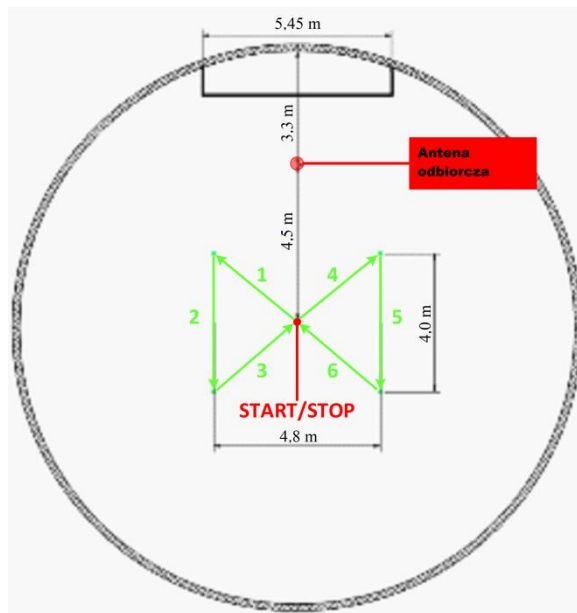


i wynosił średnio 3,9 ms z odchyleniem standardowym 3,2 ms. W skład sekcji antenowej wchodziła nasobna planarna antena nadawcza (o zysku 3 dBi, liniowej pionowej polaryzacji i szerokości wiązki głównej wynoszącej 140° w płaszczyźnie E i 115° w płaszczyźnie H) oraz dwupolaryzacyjna antena odbiorcza LB-OSJ-0760 (o zysku 10 dBi i szerokości wiązki głównej 58° w płaszczyźnie E i 46° w płaszczyźnie H). Sekcja antenowa była połączona z urządzeniami sekcji wykonawczej za pomocą przewodów w.cz. o długości 10 m, przy czym ich tłumienie (wynoszące 4 dB) uwzględniono w procesie kalibracji stanowiska pomiarowego.

Sygnałem nadawanym był wąskopasmowy sygnał zmodulowany BPSK (*Binary Phase Shift Keying*) przy użyciu pseudoprzypadkowej sekwencji o długości 23 bitów i przepływności 3 kb/s, nadawany na częstotliwości 2,45 GHz. Po kalibracji moc sygnału na wejściu anteny nadawczej wynosiła -4,2 dBm.

Podczas badań zrealizowano scenariusz dynamiczny dla łącza radiowego typu *off-body*, tj. z anteną nadawczą umieszczoną na klatce piersiowej użytkownika (o wysokości 1,72 m i wadze 60 kg) i anteną odbiorczą umieszczoną w odległości 3,3 m od ściany. Położenie anteny odbiorczej oraz drogę ruchu użytkownika z nasobną anteną nadawczą zostały przedstawione na rys. 3.

Użytkownik poruszał się ze stałą prędkością po trasie w kształcie klepsydry, co zostało zobrazowane na rys. 3. przy pomocy sześciu zielonych odcinków.



Rys. 3. Scenariusz badawczy z dynamicznym użytkownikiem sieci BAN

Zarówno punkt rozpoczęcia marszu, jak i punkt jego zakończenia znajdował się w odległości 4,5 m od anteny odbiorczej, natomiast obszar realizacji scenariusza miał wymiary 4,0 m x 4,8 m. W celu uzyskania wystarczająco dużego zbioru danych pomiarowych, scenariusz był powtórzony dziesięciokrotnie.

ANALIZA WSPÓŁCZYNNIKA XPD

Dla potrzeb analizy zjawiska depolaryzacji zastosowano współczynnik dyskryminacji polaryzacji skrośnej, XPD (*cross-polarisation discrimination ratio*), który zdefiniowany został jako stosunek (w mierze liniowej) mocy sygnału odbieranego przez antenę o polaryzacji zgodnej z polaryzacją anteny nadawczej i mocy sygnału odbieranego przez antenę o polaryzacji ortogonalnej względem polaryzacji anteny nadawczej [4][9]. W przypadku rozważanym w niniejszym referacie, gdzie antena nadawcza była spolaryzowana pionowo, współczynnik XPD (w mierze logarytmicznej) można wyrazić przy pomocy następującej zależności:

$$XPD_{[\text{dB}]} = 10 \lg \left(\frac{P_{r[\text{mW}]}^V}{P_{r[\text{mW}]}^H} \right) = P_{r[\text{dBm}]}^V - P_{r[\text{dBm}]}^H, \quad (1)$$

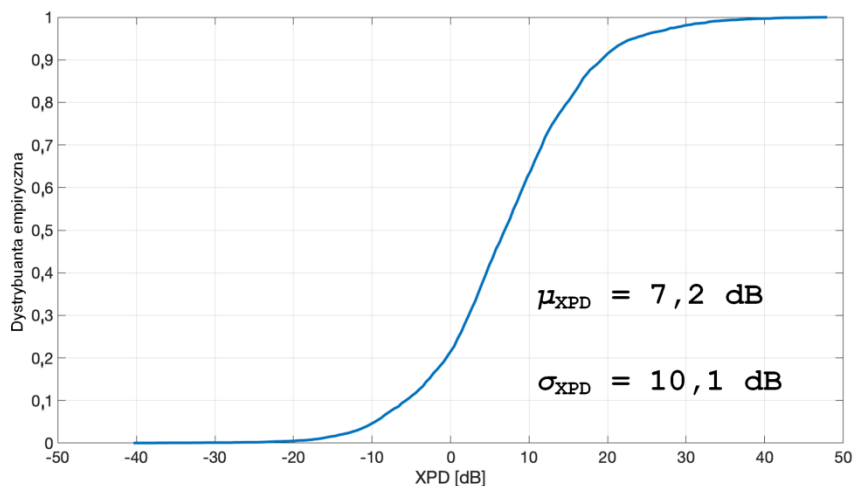
gdzie P_r^V i P_r^H stanowią moc sygnału odebranego przez antenę odbiorczą spolaryzowaną pionowo (V) i poziomo (H).

Pomierzone wartości chwilowe współczynnika XPD przyjmują wartości od -40,6 dB do 48,2 dB, natomiast wartość średnia (μ_{XPD}) wynosi 7,2 dB, a odchylenie standardowe (σ_{XPD}) przyjmuje względnie dużą wartość na poziomie 10,1 dB. Na rys. 4. przedstawiona została dystrybuanta empiryczna współczynnika XPD. Można zauważyć, że dla zdecydowanej większości przypadków XPD przyjmuje wartości dodatnie (78,94% przypadków), co oznacza, że zjawisko depolaryzacji w badanym środowisku i dla rozważanego scenariusza nie jest znaczące. Z drugiej jednak strony dla niewiele ponad 20% przypadków XPD przyjmuje wartości ujemne (20,69%) lub zerowe (0,37%), co wskazuje na istotny wpływ depolaryzacji na poziom mocy sygnału dobieranego.

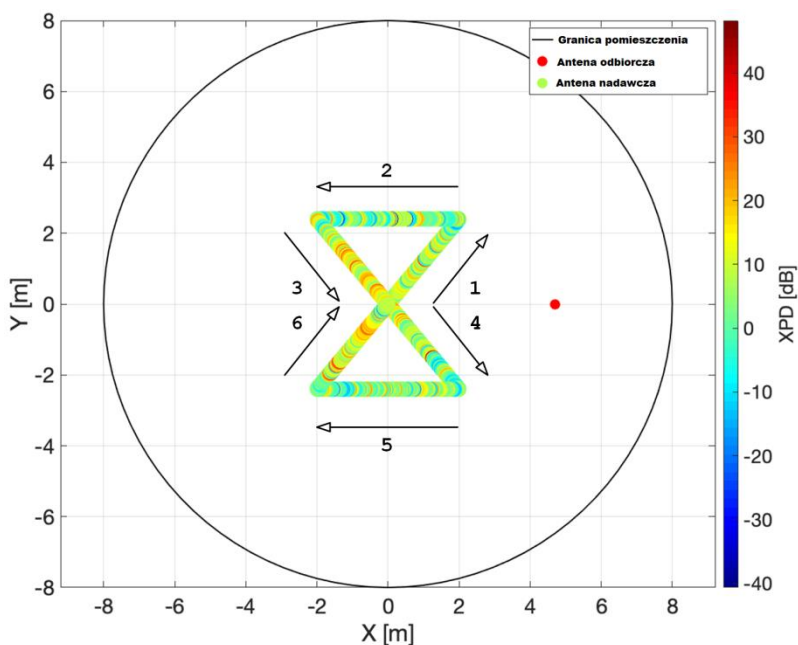
W celu znalezienia sytuacji, w których XPD przyjmuje wartości ujemne, na rys. 5. zaprezentowano jego wartości chwilowe umieszczone na planie badanego pomieszczenia. Jak można zaobserwować wartości dodatnie dominują w sytuacjach, kiedy antena nadawcza jest skierowana w stronę anteny odbiorczej (odcinki 1, 3, 4 i 6 drogi użytkownika), czyli w sytuacji występowania składowej bezpośredniej sygnału radiowego, LoS (*Line of Sight*). W warunkach braku bezpośredniej widocz-



ności, NLoS (*Non Line of Sight*), kiedy antena nadawcza skierowana jest w stronę przeciwną względem anteny odbiorczej (odcinki 2 i 5 drogi użytkownika), sygnał odebrany stanowi sumę wielu składowych wielodrogowych bez składowej bezpośredniej, co powoduje dominację ujemnych wartości współczynnika XPD.



Rys. 4. Dystrybuanta empiryczna współczynnika XPD



Rys. 5. Wartości chwilowe współczynnika XPD na planie badanego pomieszczenia



WNIOSKI

W artykule przedstawiono analizę współczynnika XPD w sieciach BAN pracujących w nietypowym cylindrycznym środowisku rewerberacyjnym. Analiza ta przeprowadzona została na bazie pomiarów przeprowadzonych na częstotliwości 2,45 GHz oraz dla scenariusza poruszającego się użytkownika. Uzyskane wyniki pozwalają stwierdzić, że zachodzi zależność współczynnika XPD od występowania składowej bezpośredniej sygnału odbieranego. W warunkach LoS składowa ta jest dominująca, wskutek czego XPD przyjmuje w większości przypadków wartości dodatnie. Natomiast w warunkach NLoS, kiedy brak jest składowej bezpośredniej, a sygnał odebrany stanowi sumę składowych wielodrogowych, rozchodzących się w środowisku wskutek wielokrotnych odbić powodujących depolaryzację fali radiowej, dominują ujemne wartości współczynnika XPD.

Przyszłe prace będą skoncentrowane na pomiarach dla innych scenariuszy oraz innych miejsc instalacji anteny nasobnej. Ponadto zostanie przeprowadzona bardziej szczegółowa analiza statystyczna i opracowane zostaną modele matematyczne umożliwiające szacowanie wartości współczynnika XPD.

BIBLIOGRAFIA

- [1] Li H-B., Yazdandoost K.Y., Zhen B. *Wireless Body Area Network*, River Publishers, Aalborg, Dania, 2010.
- [2] Wang J., Wang Q., *Body Area Communications - Channel Modeling, Communication Systems, and EMC*, Wiley, Singapur, 2013.
- [3] Laskowski M., Ambroziak S.J., Correia L.M., Świder K., *On the Usefulness of the Generalised Additive Model for Mean Path Loss Estimation in Body Area Networks*, „IEEE Access”, 2020, nr 8, str. 176873-176882.
- [4] Turbic K., Ambroziak S.J., Correia L.M., *Characteristics of the polarised off-body channel in indoor environments*, „EURASIP Journal on Wireless Communications and Networking”, 2017, nr 174.
- [5] Kosz P.T., Ambroziak S.J., Correia L.M., *Radio channel measurements in off-body communications in a ferry passenger cabin*, XXXIInd General Assembly and Scientific Symposium of the International Union of Radio Science (URSI GASS), Montreal, Kanada, 2017.
- [6] Cwalina K.K., Ambroziak S.J., Rajchowski P., *An Off-Body Narrowband and Ultra-Wide Band Channel Model for Body Area Networks in a Ferryboat Environment*, „Applied Sciences”, 2018, nr 8, 988.



- [7] Cardoso F.D., Kosz P.T., Ferreira M.M., Ambroziak S.J., Correia L.M., *Fast Fading Characterization for Body Area Networks in Circular Metallic Indoor Environments*, „IEEE Access”, 2020, nr 8, str. 43817-43825.
- [8] Ambroziak S.J., *Measurement Stand and Methodology for Research of the Off-Body and Body-to-Body Radio Channels in WBANs with Different Diversity Schemes*, „International Journal of Antennas and Propagation”, 2019, ID artykułu 3837190.
- [9] ITU-R P.310–9, *Definitions of terms relating to propagation in non-ionized media*, International Telecommunication Union, Radiocommunication Sector, Geneva, Switzerland, 1994.
- [10] Ambroziak S.J., Cwalina K., Rajchowski P., *The Analysis of Cross-Polarisation Discrimination for Body Area Networks in Cylindrical Metallic Environment*, 15th European Conference on Antennas and Propagation (EuCAP), Dusseldorf, Niemcy, 2021.

THE ANALYSIS OF CROSS-POLARISATION DISCRIMINATION RATIO FOR BODY AREA NETWORKS IN CYLINDRICAL REVERBERATION ENVIRONMENT

ABSTRACT

The analysis of cross-polarisation discrimination for Body Area Networks in the untypical reverberation environment of cylindrical metallic room has been performed in the paper. This analysis has been done based on the measurements carried out for dynamic narrowband off-body channels operating at the frequency of 2.45 GHz. The results have shown that there is a strong dependence of the cross-polarisation discrimination ratio on the existence of direct component in the radio channel.

