

WPŁYW ZANIKÓW NA EFEKTYWNOŚĆ SYSTEMÓW ICT W TRANSPORCIE DROGOWYM

Streszczenie

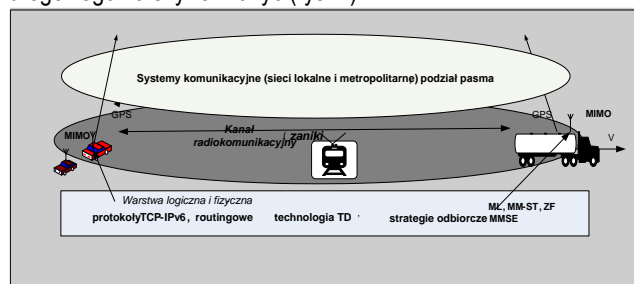
W referacie poruszono problemy związane z ograniczeniem wpływu zaników na sygnały radiowe w systemach MIMO. Wskazano na zjawiska niekorzystne takie jak: korelacja międzykanałowa, efekt nieredukowalnej stopy błędów (floor effect) występujące przy stosowaniu systemów o dywersyfikacji przestrzennej. Zamieszczono wyniki badań symulacyjnych dotyczących stosowanych algorytmów odbioru typu: ZF, ML, MMSE, MMST

WSTĘP

Zagadnienia adaptacji technologii komunikacyjnych ICT dotyczą transmisji sygnałów bezprzewodowych w różnych środowiskach propagacyjnych. Właściwości tych ostatnich zależą od rodzaju terenu, jego infrastruktury. Natomiast adaptacja systemów ICT jest ograniczona poprzez mobilność obiektów, właściwości środowisk propagacyjnych i aktualnie dostępną technologię. Istniejące sieci bezprzewodowe typu WLAN wykorzystują obecnie standardy 802.11a,b i g, 802.16m oraz IMT-advanced. W perspektywie do 2020 roku pojawi się struktura piątej generacji –5G. Klienci sieci bezprzewodowych przemieszczają się z różnymi prędkościami w różnych warunkach terenowych. Transmitowane sygnały radiowe ulegają odbiciom i rozproszeniom. Efektywność systemów komunikacyjnych zależy w dużej mierze od ograniczenia wpływu zaników na transmisję bezprzewodową danych..

1. OGRANICZENIA W APLIKACJI TECHNOLOGII KOMUNIKACYJNYCH W RUCHU DROGOWYM

Istnieje pewien kompromis pomiędzy uzyskiwaną przepływnością i ilością poprawnie odbieranych danych, zakładając pewną szybkość transmisji. Analizując właściwości systemu łączności bezprzewodowej, jego efektywność w obszarze ruchu drogowego należy rozważyć (rys. 1):



Rys.1. Schemat ideowy ilustrujący komunikację mobilną (opracowanie własne)

- rodzaj środowiska propagacyjnego i jego właściwości (tłumienie, opóźnienia i zaniki sygnału)
- zjawiska niekorzystne w systemach łączności, w szczególności w MIMO - korelacja międzykanałowa, efekt podłogowy (nieredukowalnej stopy błędów)
- wybór algorytmu odbioru
- budowę warstwy fizycznej, właściwości technologiczne zestawione łącza TD

- budowę warstwy logicznej w tym transportowej (protokoły TCP, UDP, protokoły routingowe)
- problemy związane z podziałem i wykorzystaniem pasma częstotliwości (CR -Cognitive Radio)

2. ŚRODOWISKA PROPAGACYJNE-METODY ZAPOBIEGANIA ZANIKOM

Mobilne środowisko radiowe jest środowiskiem statystycznym. Opisuje się go modelami statycznymi propagacji, quasi-statycznymi (np. Model Yakouba ¹[1]). Znacznie bliższe rzeczywistych procesów zachodzących w kanałach transmisyjnych są modele dynamiczne propagacji. Ujmują one chwilowe właściwości kanału radiowego. Na skutek jego zmienności ulega zmianom amplituda i faza sygnału. Występują także opóźnienia transmisji. Poziom odbioru sygnału jest zmienny na skutek zakłóceń zwanych zanikami (fading).

Oceną jakości zastosowanego systemu wpływającego na bezpieczeństwo ruchu jest zazwyczaj elementowa stopa błędów –BER (Bit Error Rate) rzadziej PSR (Packets Success Rate). Znanych jest szereg metod walki z zanikami. Metody klasyczne zapobiegania zanikom to stosowanie np. systemu Rake, FEC², SOVA, systemu OFDM, filtrów RCF (Raised Cosinus Filtr), LMS (Least Mean Square) [2]. Wspomniane metody poprawiają BER co najmniej o rząd wielkości – do akceptowalnego poziomu => 10⁻³. Nieco gorzej przedstawia się likwidowanie tzw. floor effect³. Proponowane systemy wczesnego ostrzegania w ruchu drogowym DSRC, i- radar itp., są oparte na bazie sieci bezprzewodowych WLAN typu 802.11 a, b/g, p, 802.16e,m oraz systemów pozycjonowania np. GPS czy DGPS. Odbiorniki i nadajniki wyposażone są w pojedyncze anteny typu dookólnego, ewentualnie w antenę kierunkową. Szereg praktycznych badań z wykorzystaniem w ruchu drogowym sieci WLAN przeprowadzono w USA np. [3]. Ponieważ warstwa fizyczna ulega modyfikacji (ewolucja technologii) stwarza nowe możliwości kreowania systemów ostrzegania w tym także systemów powiadamiania typu e-call jak i systemów monitoringu i sterowania ruchem drogowym. W systemach powiadamiania jak i sterowania ruchem drogowym wykorzystuje się w zasadzie większość dostępnych technologii:

¹ Model generujący rozkłady : Nakagami, Rice'a, Rayleigh'a, jednostronny Gaussa

² Forward Error Correction- Systemy kontroli błędów realizowane przez różne typy kodowania np. kodowanie blokowe

³ Zmiana fazy sygnału użytecznego pod wpływem zaników szybkich. Mogą one być ograniczone, głównie poprzez zmniejszenie szybkości transmisji oraz pojemność kanału.

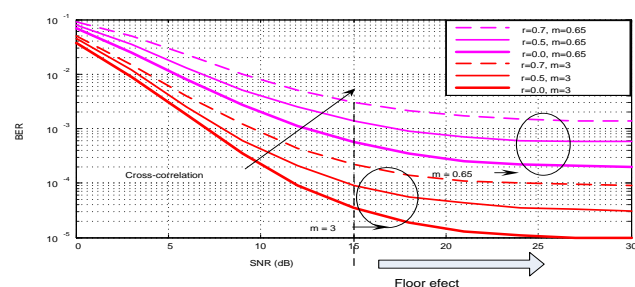
WLAN⁴, UMTS, GPS. Natomiast wspomniane wcześniej rodzaje anten zastąpiono systemem o dywersyfikacji przestrzennej MIMO.

3. ZANIKI W SYSTEMACH RADIOWYCH WSPARTYCH PRZEZ MIMO

W oryginalnej koncepcji Alamoutiego [4] zakłada się pełną znajomość transmitancji w poszczególnych kanałach MIMO, także brak korelacji między kanałami oraz ograniczenie zaników do formy płaskiej i quasi-statycznej.

W [5,6,7] przedstawiono wyniki badań symulacyjnych przeprowadzonych dla zaników wolnych ($F_D T_S = 0,01; 0,001$) oraz zaników szybkich typu Nakagami [8].

Badania symulacyjne przeprowadzono wprowadzając odstępstwo od koncepcji Alamoutiego zakładając pewien stopień korelacji międzykanałowej w granicach $r < 0-0,7>$ (odpowiednio brak korelacji, duża korelacja) oraz głębokość zaników⁵ odniesioną do rozkładu m- Nakagami.



Rys.2. BER dla systemu MIMO 2x2 przy korelacji $0 < r < 0,7$, znormalizowanej wielkości zaników m i $F_D T_S = 0,1$ wg [6] (współautorstwo w opracowaniu)

Na rysunku 2 zaakcentowano obecność zjawiska podłogowego (*floor effect*). Zwiększanie SNR (*Signal to Noise Ratio*) nie poprawia BER. Efekt jest silnie zauważalny dla $SNR > 15$ dB. Jest on wynikiem korelacji przestrzennej⁶ i niekorzystnego iloczynu $F_D T_S$ (zaników szybkich). Poziom nieredukowalnej stopy błędów zależy od szybkości poruszania się obiektów, głębokości zaników oraz korelacji kanałów. Zjawisko podłogowe można ograniczyć poprzez dobór odpowiedniego algorytmu odbioru, inaczej strategii odbiorczej.

4. ALGORYTMY ODBIORU (STRATEGIE ODBIORCZE) W SYSTEMACH MIMO

Powracając do założeń przyjętych w modelu Alamoutiego (pkt.2 referatu) i zastosowanego w tym modelu tradycyjnego kryterium odbioru ML⁷ (*Maximum Likelihood*) można stwierdzić, że system zachowuje optymalność tylko dla modelu interferencji AWGN⁸.

Stosowane metody odbioru sygnału (strategie odbiorcze) powinny poprawiać niezawodność systemu łączności. W szczególności zaś: ograniczenie efektu nieredukowalnej stopy błędów,

⁴ Obok wspomnianych standardów również 802.15 (dla sygnałów sensorowych) WiFimax, Wifimax2 oparte na 802.16m oraz 802.11n

⁵ Parametr m reprezentuje głębokość zaników (*depth of fading*), duża dynamika zaników $m=0,65$, mała $m=3$

⁶ Korelacja pomiędzy ścieżkami propagacji sygnału

⁷ W przypadku odbioru jednokanałowego detektor podejmuje decyzję, że nadany został ten symbol, dla którego odległość Euklidesa względem wszystkich symboli z danego alfabetu jest najmniejsza [9]. Dla systemów wielokanałowych –system odbioru MRC (*Maximal Ratio Combining*) [10]

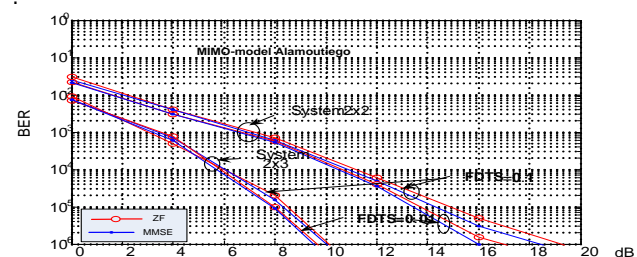
⁸ *Additive white Gaussian noise*

eliminację interferencji międzykanałowych, uproszczenie algorytmów detekcji (zwiększających koszty urządzeń odbiorczych).

Znane algorytmy odbioru kodów STBC to:

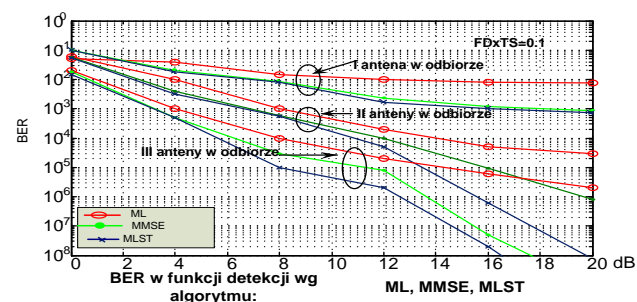
- dekodery liniowe ML (*Maximum Likelihood*) stosowany w modelu Alamoutiego
- ZF (*Zero Forcing*) [11]
- MMSE (*Minimum Mean Square Error*) [11]
- SIC (*Successive Interference Cancellation*) czyli sukcesywne usuwanie interferencji, oraz zaliczany do tej samej grupy DF (*Decision Feedback*)
- JML (*Joint Maximum Likelihood*) prezentowane w [12]
- ML-ST (*Maximum Likelihood Space-Time*) lub jako sekwencyjny detektor ML-SD (*Maximum Likelihood Sequence Detector*) [Proakis-10]

W referacie zamieszczono wyniki z badań symulacyjnych systemów MIMO w środowisku Rayleigh'a dla algorytmów ML, ZF, MMSE, ML-ST z parametrem $F_D T_S$. Celem badań symulacyjnych było zbadanie wpływu ilości anten odbiorczych na elementową stopę błędów oraz przydatności ww. algorytmów odbioru. Do badań symulacyjnych wykorzystano program matlab.



Rys.3. Porównanie algorytmów odbioru MMSE i ZF (opracowanie własne)

Na rysunku 3 przedstawiono krzywe BER dla modeli 2x2 i 2x3 Alamoutiego. Dodanie 3 anteny w odbiorze poprawia BER o co najmniej rząd wielkości zarówno dla dynamicznych zaników $F_D T_S = 0,1$ jak i umiarkowanie wolnych $F_D T_S = 0,01$. Zastosowanie algorytmu MMSE w miejsce ZF nie poprawia znacząco charakterystyki BER. Należy zaznaczyć, że MMSE jest bardziej skomplikowany wyliczeniowo niż ZF.



Rys.4. Porównanie algorytmów ML, MMSE, MLST dla systemów MISO i MIMO (opracowanie własne)

Na rysunku 4 przedstawiono porównanie strategii MMSE, MLST wobec ML. Analizując krzywe (Rys.4) widać, że nawet przy bardzo dynamicznych zmianach stanu kanału ($F_D T_S = 0,1$) zastosowanie dodatkowej anteny jest korzystniejszym rozwiązaniem, aniżeli stosowanie dość skomplikowanych strategii odbioru MMSE, MLST.

Analizując krzywe BER, przy dynamicznych zmianach stanu kanału, stwierdzono, że zastosowanie dodatkowej anteny jest równie skutecznym rozwiązaniem, jak stosowanie bardziej za-

awansowanych strategii odbiorczych w układach o mniejszej ilości anten. Strategie te cechuje większa złożoność obliczeniowa, co może mieć istotne znaczenie na przykład w systemach wykorzystujących modulację OFDM, gdzie należy ją zastosować wobec każdego z symboli, z których tworzony jest symbol OFDM. Na przykład, jeżeli system wykorzystuje modulację OFDM z FFT 256 lub więcej (np. 512) i zakładając, że podnośne zawierają symbole poddane kodowaniu przestrzennie-czasowemu – należałoby zastosować algorytm w odbiorze wobec wszystkich symboli jednocześnie (np. 256).

5. TECHNICZNE ASPEKTY STOSOWANIA TECHNOLOGII MIMO

Możliwości wynikające z zastosowania technologii wieloantennowych pomimo pewnych ograniczeń są dość atrakcyjne. Dlatego też doczekały się one aplikacji w standardach sieci bezprzewodowych w sieciach lokalnych jak też metropolitalnych. Najwcześniej opcjonalnie MIMO zastosowano w standardzie IEEE 802.16 a następnie w roku 2010 w standardzie 802.11n [13]. Ten ostatni został zrealizowany w postaci urządzeń WLAN wyposażonych w co najmniej 2 anteny (teoretycznie urządzenia mogą być wyposażone w 4 anteny). Przy założeniach jak poniżej, implementacja MIMO jest dość prosta i przyjazna dla kodów przestrzennieczasowych oraz multipleksacji przestrzennej. Założenia są następujące: mały zasięg, małe prędkości poruszania się klientów sieci oraz stosunkowo duża odległość między antenami (unikanie korelacji międzykanałowych) Standard 802.11n (dla 4 strumieni danych) pozwala osiągać maksymalną przepływność 600Mb/s przy paśmie 40MHz [14]. Układów 802.11n prezentowane są w [15].

Przy założeniu znacznie większych prędkości klientów sieci oraz w przypadku małych gabarytowo terminali (np. tel. komórkowe) aplikacja MIMO jest znacznie trudniejsza.

W przypadku sieci metropolitalnych takich jak WiMAX czy też UMTS od początku był wykorzystywany odbiór zbiorczy w łączu w górę. System MIMO był głównie wykorzystywany w łączu w dół. Istniała oddzielna specyfikacja dla stacji bazowej i terminala w systemach Mobile WiMAX i LTE (3GPP Realise 9) Stacje bazowe mają konfigurację MIMO 2x2 (2 anteny nadawcze i 2 odbiorcze). Terminale abonenckie zaś tzw. SIMO (1 antena nadawcza i 2 odbiorcze-Single Input-Multiple Output). Zakończono prace nad standardem IEEE 802.16m (marzec 2011) pozwoliły na opracowanie profilu WiMAX2, a w 3GPP profilu LTE+. Obecnie możliwe jest stosowanie MIMO w łączu „w dół” jak i „w górę”. Prace nad IMT –advanced⁹ (obecnie znane jako 4G) stanowią bazę dla implementacji MIMO w mieszanym przyszłościowo systemie 5G (planowany na 2020r). Wymagania IMT-Advanced zakładają prędkości poruszania się do 350 km/h, a w standardzie IEEE 802.16m-2011 nawet 500km/h [13].

LITERATURA:

1. Yacoub M., "k-m distribution", XIX simposio brasileiro de telecomunicacoes 2001
2. Krawczyk Z., „Received WLAN signals in mobile communication V2V”, Logistyka nr 6/2009
3. Matolak W. D. et al., „5 GHz wireless channel characterization for vehicle to vehicle communications” *IEEE, Milcom* 2005, Atlantic City, October 17-20

4. Alamouti S. M., "A Simple Transmit Diversity Technique for Wireless Communications," *IEEE J. Sel. Areas Commun.*, vol. 16, no. 8, pp. 1452 - 1458, October 1998.
5. Krawczyk Z., „Korzyści z zastosowania systemów MIMO w ruchu drogowym”, TTS nr 9/2012
6. Pawelec J., Krawczyk Z., Kosmowski K., „Modeling of MIMO system over fast fading channels”, TST nr 9/2012 str. 285-290
7. Kosmowski K. and Pawelec J., "A Stochastic Model of Channel Correlation in MIMO Systems," Rozdział w: *Concepts and Implementations for Innovative Military Communications and Information Technologies*. Monografia pod redakcją Marka Amanowicza. Redakcja Wydawnictw Wojskowej Akademii Technicznej, 2010,
8. Beaulieu N., and Cheng C., "Efficient Nakagami-m Fading Channel Simulation," *IEEE TVT* no.2, 2005
9. E.A. Lee, D. G. Messerschmitt, *Digital Communication. Second Edition*, Kluwer Academic Publishers 1993;
10. J.G. Proakis, *Digital Communications, 4rd Edition*, McGraw-Hill, 2001.
11. L. Zhang, S. Li, H. Zheng, and M. Wu, "A Selective Co-Channel Interference Mitigation Method for Alamouti Code," in *Proc. IEEE Symp. on Computers and Communications*, June 2006, pp. 149-154.
12. A. Vielmon, Y. Li and J. Barry, "Performance of Alamouti Transmitt Diversity over Time-Varying Rayleigh-Fading Channels," *IEEE Trans. Wireless Commun.*, v.3, no.5, pp. 1369 – 1373, September 2004.
13. IEEE Standards for Information technology – Telecommunications and information exchange between systems – Local and metropolitan area networks – Specific requirements. Part 11: Wireless LAN Medium Access Control (MAC) and Physical Layer (PHY) Specifications. Amendment 5: Enhancements for Higher Throughput. (IEEE Std 802.11nTM-2009).
14. P. Remlein, R.Gucwa, "Turbokodowanie przestrzennieczasowe dla transmisji w sieciach WLAN 802.11n," *Przegląd Telekomunikacyjny i Wiadomości Telekomunikacyjne*, nr 6/2011, s. 329.
15. R.Kotrys, M.Krasicki, P. Remlein, P. Szulakiewicz, „Badania symulacyjne algorytmów odbioru wielostrumieniowej transmisji danych w sieciach 802.11n,” *Przegląd Telekomunikacyjny i Wiadomości Telekomunikacyjne*, nr 6/2011, s. 333.

WNIOSKI

Efektywność stosowanej technologii ICT to niezawodność i przepustowość kanału transmisji danych. Niezawodność obrazowana jest przez BER i wpływa w istotny sposób na organizację i bezpieczeństwo ruchu drogowego. Stosowane obecnie technologie telekomunikacyjne muszą odzyskiwać sygnał mający często poziom szumów. Wykazano, że system MIMO jest w stanie odzyskać sygnał z b. małym błędem rzędu 10^{-7} a w bardzo niekorzystnych warunkach co najmniej z błędem 10^{-3} . Istotą zagadnienia jest stosowany algorytm odbiorczy (strategia odbiorcza).

Stwierdzono na podstawie badań symulacyjnych, że nie ma uniwersalnej strategii odbiorczej, czy idealnej strategii odbiorczej. Dodanie 3 anteny w odbiorze pozwala na zastosowanie mniej skomplikowanego wyliczeniowo algorytmu odbiorczego zachowując wysoką efektywność danego systemu łączności. Powstaje pytanie, czy i kiedy stosowana technologia w warunkach rzeczywistych (fuzja obecnych technologii i 5G) będzie w stanie zapewnić wysoką niezawodność łączności dla terminali poruszających się z prędkościami rzędu 500 i więcej km/h.

⁹ Internationale Mobile Telecommunications-Advanced)

EFFECT OF FADING ON EFFICIENCY ICT SYSTEMS IN ROAD TRANSPORT

Abstract

The article analyses problems of influence of fading over ICT systems (wireless communication, mainly- MIMO). The models of channel under Rayleigh and Nakagami fading conditions is studied in detail. The received's algorithms as ZF, ML, MMSE, MLST are considered over adaptation MIMO 2x2, 2x3 systems. The results of the analysis are encouraging.

Autorzy:

Dr inż. **Zbigniew Krawczyk** – Uniwersytet Technologiczno-Humanistyczny w Radomiu, wydział Transportu i Elektrotechniki
prof. dr hab. inż. **Mirosław Luft** – Uniwersytet Technologiczno-Humanistyczny w Radomiu, wydział Transportu i Elektrotechniki