

Konrad POŁYS
Instytut Informatyki Teoretycznej i Stosowanej PAN

WPLYW WIELKOŚCI HISTEREZY PRZEŁĄCZEŃ NA PRZEPUSTOWOŚĆ W SIECI LTE¹

Streszczenie. W sieciach mobilnych użytkownicy są przełączani pomiędzy stacjami bazowymi na podstawie siły sygnału lub innych metryk jakości transmisji. W celu optymalizacji przełączeń pomiędzy stacjami bazowymi często wykorzystywana jest histereza. Pozwala ona ograniczyć liczbę niepotrzebnych, bardzo krótkich przełączeń. W artykule zbadano wpływ wielkości histerezy na liczbę przełączeń oraz na osiąganą przepustowość połączenia użytkownika sieci LTE wyznaczaną na podstawie poziomu sygnału. Wyniki przeprowadzonych symulacji wskazują, że odpowiedni margines przełączenia znacznie zmniejsza liczbę niepotrzebnych przełączeń, a jednocześnie praktycznie nie zmniejsza przepustowości.

Słowa kluczowe: wydajność, handover, lte, histereza, przełączenia, snr

INFLUENCE OF HANDOVER HYSTERESIS ON BITRATE IN LTE NETWORK

Summary. In wireless networks users are switched between base station basing on signal strength or other metrics. To optimize users' handover between base stations commonly used is hysteresis. It reduces the number of unnecessary, very short handovers. In this paper we have evaluated influence of handover hysteresis on the number of handovers and average bitrate which is derived from signal-to-noise ratio. The results show that proper handover margin can notably reduce the number of unnecessary handovers almost without reducing the throughput of network.

Keywords: performance, handover, lte, hysteresis, snr

¹ Praca ta została sfinansowana z grantu Narodowego Centrum Badań i Rozwoju, nr LIDER/10/194/L-3/11.

1. Wstęp i motywacja

Z kilku dostępnych technologii bezprzewodowego dostępu do sieci obecnie standard LTE udostępnia wysokie przepustowości transmisji danych oraz jest coraz powszechniej stosowany. Sieci LTE obejmują swoim zasięgiem miasta lub większe obszary, na których kluczowym elementem staje się problem mobilności i zapewnienia sprawnie działających mechanizmów przełączania klientów (HO – ang. *handover*) [61]. W sieciach LTE procedura przełączenia jest inicjowana przez stację bazową i ma ona duży wpływ na jakość połączeń.

W celu optymalizacji procesu przełączenia UE między stacjami bazowymi (w LTE zwanymi eNodeB - eNB) jedną ze stosowanych technik jest zastosowanie przełączenia z histerezą, określaną również jako *Handover Margin* (HM). Podejście to było wielokrotnie badane i analizowane, między innymi w artykułach [8, 10, 11, 12]. Omawiany tu mechanizm nie jest specyficzny dla LTE i może zostać zastosowany również w innych technologiach. W większości tego typu opracowań miarą skuteczności proponowanych rozwiązań jest prawdopodobieństwo powodzenia przełączenia, liczba zerwanych połączeń telefonicznych lub średni poziom sygnału, natomiast brak jest obliczeń, jak HM bezpośrednio wpływa na maksymalną przepływność danych w sieci LTE. Niniejszy artykuł ma na celu wypełnić tę lukę poprzez analizę przypadku poruszania się terminalu sieci LTE (UE) w terenie podmiejskim [14].

Zbyt niska wartość progu przełączenia może wywołać efekt „ping-pong” – urządzenie klienckie będzie wielokrotnie przełączane między stacjami bazowymi o podobnej sile sygnału, w mniejszych odstępach czasu niż to konieczne. Takie zjawisko nie jest pożądane - generuje narzut związany z obsługą zdarzenia i zwiększa ryzyko niepowodzenia HO. Z kolei za duża wartość HM podobnie powoduje sytuacje, których należy unikać. Zwlekanie z przełączeniem obniża prędkość transmisji danych z powodu gorszej modulacji, która jest wybierana dla słabszego sygnału, a także może znacznie zwiększyć ryzyko utraty połączenia. W tym artykule przeanalizowano wpływ wielkości progu, po przekroczeniu którego inicjowany zostaje proces przełączenia do nadajnika o mocniejszym sygnale na osiąganą przepustowość. Zostały przedstawione wyniki symulacji, pokazujące zmianę średnich wartości dostępnego pasma, stosunku sygnał-szum, a także liczbę operacji przełączenia i ewentualne utraty sygnału spowodowane zbyt późną reakcją [1, 7].

Artykuł jest zorganizowany w następujący sposób: w rozdziale 2 został przedstawiony opis modelu symulacyjnego oraz sposób wyliczania siły sygnału odebranego przez urządzenie i osiąganą przez nie przepustowość. W rozdziale 3 omówiono otrzymane rezultaty, a część 4 jest podsumowaniem otrzymanych wyników i planem przyszłych prac.

2. Model symulacyjny

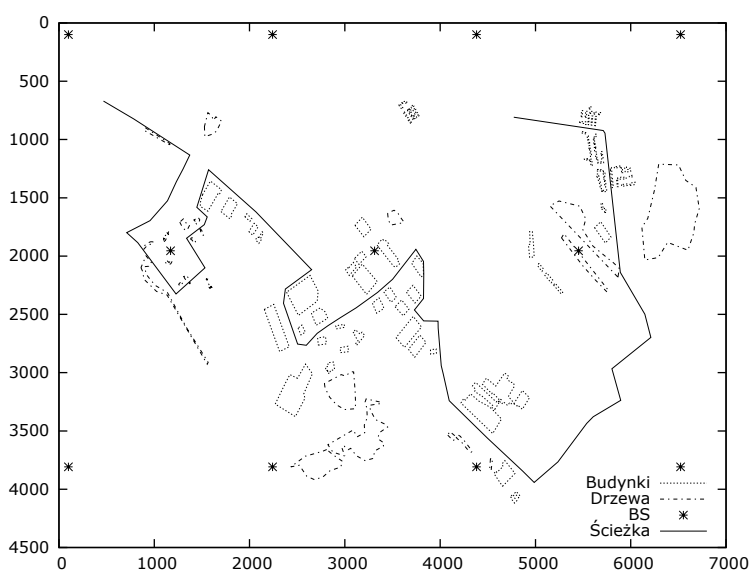
Przedstawione wyniki badań zostały otrzymane z modelu stworzonego w środowisku symulacyjnym OMNeT++ [3] w wersji 4.3 z biblioteką INET 2.2. Obszar symulacji to powierzchnia o wymiarach 4500 x 7000 m, na której umieszczono 11 stacji bazowych rozmieszczonych na wzór plastra miodu o promieniu 1236 m, odległości między eNB zostały ustawione na podstawie [2]. Przy użyciu programu Google Earth, na podstawie zdjęć satelitarnych, odtworzono grupy największych lub najwyższych zabudowań, a także rejony, w których można było zaobserwować duże skupiska drzew. Dzięki kontrolce *ObstacleControl* z pakietu INET każdy z tych elementów, w zależności od typu i rozmiaru, wprowadzał tłumienie dla sygnału transmitowanego ze stacji bazowych. Teren, na którym się wzorowano to północno-zachodni obszar na przedmieściach Gliwic – jest to miejsce o zróżnicowanej zabudowie, gdzie można spotkać duże hale, domy jednorodzinne, bloki mieszkalne, a także są obszary polne i leśne. Wybrany obszar odpowiada charakterystyce przedmieść opisanej w [5, 14]. Symulowana trasa, po której przemieszcza się urządzenie mobilne, została wytyczona z uwzględnieniem dróg istniejących w rzeczywistości, przyjęto prędkość poruszania się równą 60 km/h. Wizualizacja stworzonej symulacji jest widoczna na rys. 1.

Elementem symulującym urządzenie mobilne był odpowiednio zmodyfikowany obiekt *WirelessHost*, poruszający się po wyznaczonej ścieżce, do którego każda stacja bazowa wysyłała co 50 ms ramkę rozgłoszeniową z jej identyfikatorem. Przyjęty czas 50 ms jest to uproszczenie w stosunku do rzeczywistości, gdzie w sieci LTE symbol referencyjny jest rozsyłany w każdej subramce (*subframe*) w danym słocie czasu 0.5 ms [9]. W omawianym modelu tak duża częstotliwość nie ma wpływu na rejestrowane, średnie wartości, dlatego została ona zwiększona dla optymalizacji działania symulacji. Dla każdej odebranej ramki była liczona siła sygnału z uwzględnieniem modelu propagacji i przeszkód na drodze. Stacje bazowe nadawały z częstotliwością nośnej 2,1 GHz przy mocy 37 dBm, parametry te zostały przedstawione w [2]. Również co 50 ms następowało sprawdzenie tabeli z zarejestrowaną siłą sygnałów i jeśli sygnał którejś stacji bazowej, innej niż ta, do której urządzenie było aktualnie podłączone, był powyżej rozpatrywanego HM, następowała inicjacja procesu HO. Za czas trwania procesu przełączania przyjęto 65 ms, jest to czas obserwowany przez UE i uwzględnia on niepewność wykorzystania pierwszej okazji dostępu i wynosi ona maksymalnie 30 ms, czas na przetworzenie pakietów *RRC Connection Reconfiguration* – 15 ms i 20 ms jako margines implementacyjny [13]. Stanem początkowym dla symulacji był brak połączenia do momentu odebrania pierwszej ramki rozgłoszeniowej i podłączenia się do nadajnika.

W sieci LTE decyzję o HO podejmuje kontroler, wysyłając do UE wiadomość *RRC Connection Reconfiguration* w odpowiedzi, na którą UE wysyła *Measurement Report* będący pomiarem sygnału słyszanych eNB, następnie podejmowana jest decyzja o ewentualnym

przełączeniu – UE otrzymuje kolejną wiadomość *RRC Connection Reconfiguration* i przełącza się do wskazanej stacji bazowej, zakończenie raportuje przez wiadomość *RRC Connection Reconfiguration Complete*. Ten przypadek HO określany jest jako Proactive HO i taki też jest badany w opisywanej symulacji. Ponieważ przedmiotem badań jest wpływ HM na przepustowość sieci LTE wynikającą z siły odbieranego sygnału, sygnalizacja *RRC Connection Reconfiguration/Complete* została uproszczona, także sposób połączenia między eNB (interfejsy S1, X2) jest nieistotny.

Symulacja została uruchomiona 30 razy dla każdego z 36 HM, po których następuje przełączenie, rozpatrywano histerezę o wartości od 0 do 35 dB ze skokiem o 1.



Rys. 1. Rozmieszczenie obiektów symulacji

Fig. 1. Simulation's objects arrangement

2.1. Obliczanie poziomu sygnału

Jako model propagacji sygnału radiowego zastosowano model SUI (*Stanford University Interim*), który został opracowany jako nowy moduł dla biblioteki INET działającej w środowisku OMNeT++. Moduł ten wylicza utratę sygnału (1) na podstawie odległości, częstotliwości i mocy sygnału nadajnika, a także z uwzględnieniem wysokości anten, tu przyjęto 1,5 m jako wysokość anteny odbiorczej (h_{ODB}) i 40 m dla nadawczej (h_{BS}). Model SUI ze wzorami (1)-(4) opracowano na podstawie [2].

$$P_L = \begin{cases} \alpha + 10\gamma \log_{10} \left(\frac{R}{R_0} \right) + X_f + X_h + s, & \text{jeśli } R > R_0' \\ 20 \log_{10} \left(\frac{4\pi R_0'}{\lambda} \right) + s, & \text{jeśli } R \leq R_0' \end{cases} \quad (1)$$

$$\alpha = 20 \log_{10} \left(\frac{4\pi R_0'}{\lambda} \right) \quad (2)$$

W przypadku gdy odległość jest mniejsza niż R_0' , wtedy utrata sygnału jest liczona według modelu FreeSpace [4]. λ to długość fali, w omawianej symulacji odpowiadająca częstotliwości 2.1 GHz. R_0' jest obliczany na podstawie odległości referencyjnej R_0 równej 100 m, wzór przedstawiono poniżej:

$$R_0' = R_0 \times 10^{\frac{X_f + X_h}{10\gamma}} \quad (3)$$

gdzie X_f to współczynnik korekcji dla częstotliwości powyżej 2 GHz o wzorze $X_f = 6 \times \log_{10}(f_{\text{[GHz]}} \div 2)$, X_h to współczynnik korekcji dla wysokości anteny odbiorczej: $X_h = -d \times \log_{10}(h_{\text{ODB}} \div 2)$, γ zależy od środowiska i jest określona wzorem (4):

$$\gamma = a - b \times h_{BS} + \frac{c}{h_{BS}} \quad (4)$$

Model propagacji SUI przewiduje trzy typy terenu i dla każdego zostały zdefiniowane inne wartości współczynników [5, 2]. Teren A to miejsca o największej tłumienności sygnału, np. gęsto zaludnione obszary miejskie, teren B odpowiada terenom podmiejskim, natomiast teren C to miejsca z bardzo małą ilością przeszkód tłumiących sygnał, z „lekką” roślinnością. Wartości współczynników zebrano w tabeli 1. W symulacji wykorzystano wartości dla terenu B.

Tabela 1

Wartości współczynników zależnych od typu terenu

	a	b	c	d	s
Teren A	4,6	0,0075	12,6	10,8	10,6
Teren B	4,0	0,0065	17,1	10,8	9,6
Teren C	3,6	0,0050	20,0	20,0	8,2

2.2. Kalkulacja przepustowości

W sieciach LTE wykorzystywany jest wskaźnik CQI (*Channel Quality Indicator*), będący dla stacji nadawczej informacją o jakości sygnału odbieranego przez każde z urządzeń klienckich. W blokach danych zostają umieszczone symbole referencyjne, które służą do wyliczenia przez urządzenie końcowe SNR (stosunek mocy odebranego sygnału do szumu, ang. *signal-to-noise ratio*), który następnie jako wskaźnik CQI jest raportowany do eNB [61]. To jedyna informacja, jaką UE zwracają do stacji bazowej, mówiąca o sygnale. CQI następnie służy do wybrania odpowiedniego MCS (*Modulation and Coding Scheme*), który określa schemat kodowania i zastosowaną modulację sygnału dla bloku zasobów, w skrócie RB (*Resource Block*). W pojedynczym czasie transmisji TTI (*Transmission Time Interval*) wszystkie

przydzielone RB muszą używać tego samego MCS, a ich liczba zależy od przydzielonego pasma (BW). Tabela 3. pokazuje tę zależność [6]. W symulacji wykorzystano mapowanie przedstawione w tabeli 2 [2] z pasmem o szerokości 5 MHz i TTI = 1 ms.

Tabela 2

Mapowanie CQI do MCS

CQI	MCS	Modulacja	Code Rate, r_i	Rozmiar modulacji, M_i	SNR
1	0	QPSK	78	4	-5,45
2	2	QPSK	120	4	-3,63
3	4	QPSK	193	4	-1,81
4	6	QPSK	308	4	0
5	8	QPSK	449	4	1,81
6	10	QPSK	602	4	3,63
7	12	16QAM	378	16	5,45
8	14	16QAM	490	16	7,27
9	16	16QAM	616	16	9,09
10	18	64QAM	466	64	10,90
11	20	64QAM	567	64	12,72
12	22	64QAM	666	64	14,54
13	24	64QAM	772	64	16,36
14	26	64QAM	873	64	18,18
15	28	64QAM	948	64	20

Tabela 3

Liczba przydzielonych RB na TTI

BW [MHz]	1.5	2.5	5	10	15	20
Liczba RB	12	24	50	100	150	200

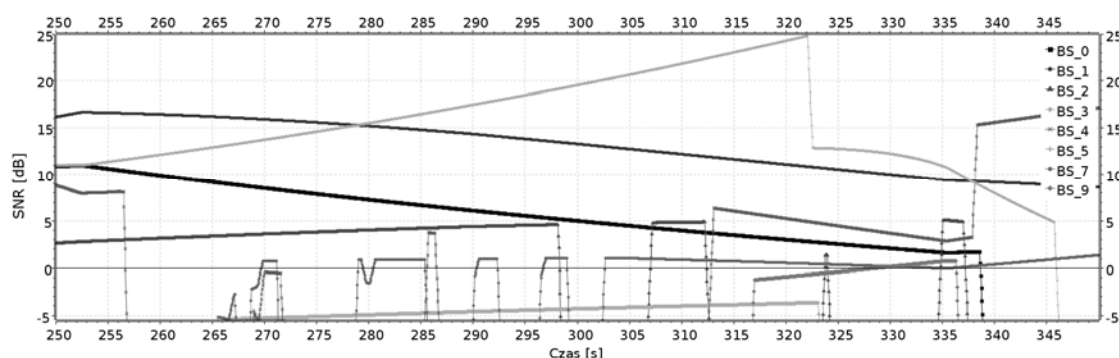
Pojemność komórki jest wyliczana ze wzoru (5), natomiast wydajność (liczba bitów możliwych do przesłania) transmisji η_i jest liczona jako (6):

$$C_c = \eta_i \times 12 \times 7 \times \frac{RB(BW)}{TTI} \quad (5)$$

$$\eta_i = r_i \times \log_2(M_i) \quad (6)$$

3. Wyniki badań

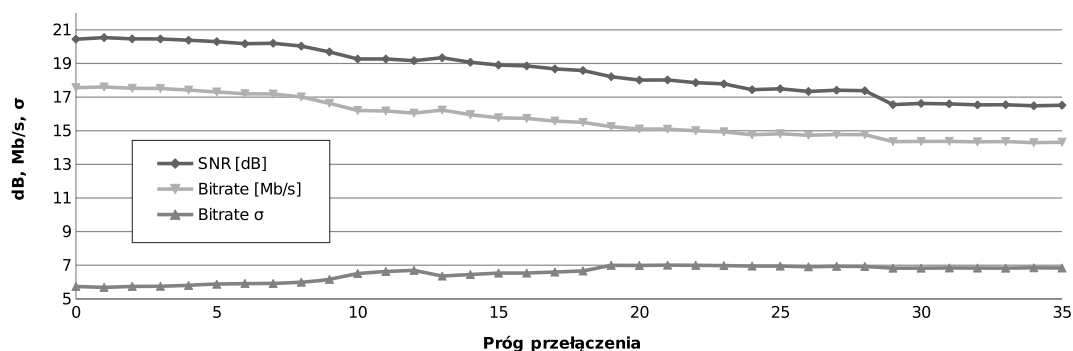
Na rys. 2 został przedstawiony wycinek (dla czytelności) miary poziomu odbieranego SNR przez UE ze „słyszanych” stacji w trakcie przemieszczania się po obszarze symulacji. Pokazano na nim, jak bardzo dużym wahaniom ulega odbierany sygnał, w przedstawionym wypadku ich główną przyczyną są przeszkody znajdujące się między UE a eNB.



Rys. 2. Odczyt SNR w czasie

Fig. 2. SNR in time

Wyniki symulacji przedstawiono w formie wykresów widocznych na rys. 3 i 4. Rysunek 3 obrazuje wpływ wielkości progu przełączenia na otrzymane średnie wartości stosunku sygnał-szum (SNR) wyrażone w dB, średniej przepustowości (*Bitrate*) w Mb/s i odchylenie standardowe przepustowości. Na rys. 4 wykreślono liczbę zdarzeń (przełączenie, utrata połączenia, suma zdarzeń) w zależności od HM.

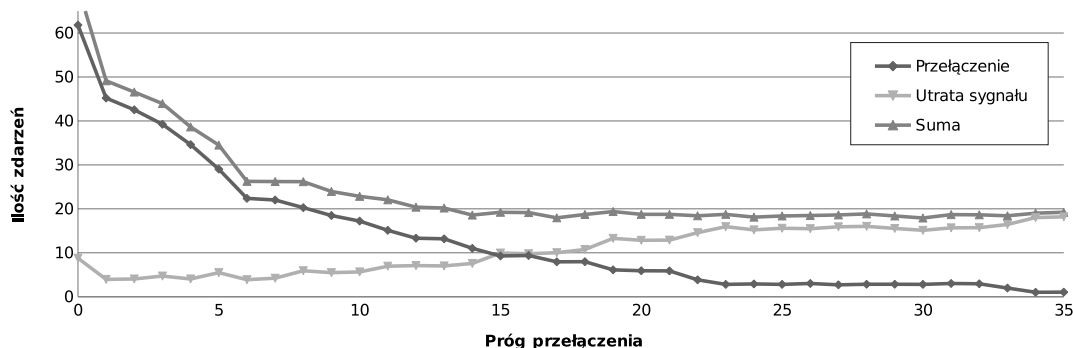


Rys. 3. Średni SNR, bitrate i odchylenie standardowe w zależności od progu

Fig. 3. Average SNR, bitrate and std. deviation. depending on threshold

Przeprowadzone symulacje pokazują, iż sygnał stacji bazowych odbierany przez UE w trakcie przemieszczania się ulega dużym wahaniom. Wpływ na to ma wiele czynników - jedną z najbardziej zauważalnych przyczyn jest zabudowa terenu, wiąże się z nią również rozmieszczenie eNB. Prędkość zmian obserwowanego poziomu SNR bezpośrednio wynika z prędkości poruszania się UE. W przypadku ruchu w tempie pieszego zmiany te będą mniej gwałtowne. Z tych powodów właściwy dobór HM ma znaczny wpływ na siłę sygnału, z której będzie wynikać wybrana modulacja i osiągnięta przepustowość połączenia. Brak histerezy doprowadza do sytuacji, w których UE dąży do połączenia z nadajnikiem, z którego odbiera najsilniejszy sygnał, co powinno skutkować najlepszą z możliwych modulacji, ale takie działanie prowadzi do znacznie częstszych HO, niż jest to potrzebne. Na rys. 3 widać, iż średnia przepustowość między HM równym 0 a 5 jest prawie jednakowa, a liczba operacji przełączenia (rys. 4) drastycznie maleje, zmniejszając obciążenie urządzeń i sieci z powodu narzutu na sygnalizację. Mniejsza liczba przełączeń zwiększa stabilność połączenia,

ponieważ zmniejsza się liczba możliwych niepowodzeń takiej operacji w danym czasie. Rozpatrując negatywne skutki efektu „ping-pong”, należy również zwrócić uwagę, że może to znacznie skrócić czas działania urządzenia mobilnego bez potrzeby ładowania.



Rys. 4. Liczba przełączeń i utrat sygnału w zależności od progu
 Fig. 4. Number of HO and signal-lost depending on threshold

W badanej symulacji najlepsze wyniki osiągnięto przy progu przełączenia między 5 – 9 dB (optimum w okolicy 7 dB), ponieważ zapewniło to około 50% redukcję liczby przełączeń względem braku HM, tym samym wzrost prawdopodobieństwa utraty połączenia jest niewielki. Przedstawiając wpływ wielkości histerezy przełączeń na maksymalną przepływność sieci LTE, spełniono założenia niniejszego artykułu poprzez uzupełnienie aktualnego stanu wiedzy.

4. Podsumowanie i dalsze prace

Wyniki symulacji opisane w artykule pokazują, iż przy doborze odpowiednich wartości parametrów, nawet tak prosty mechanizm, jak histereza przełączeń, znacznie optymalizuje proces wyboru momentu przełączenia UE pomiędzy stacjami bazowymi. Mechanizm ten, zachowując wysoką przepustowość, zmniejsza prawdopodobieństwo niepowodzenia HO przez obniżenie ich liczby, tym samym redukcji ulega narzut na sygnalizację. W ramach dalszych prac planowana jest rozbudowa modelu o większą liczbę urządzeń poruszających się między stacjami bazowymi, symulując ich ruch z wykorzystaniem modeli mobilności, a także dodając algorytmy odpowiedzialne za przydział zasobów radiowych i zbadanie przepustowości pojedynczych urządzeń, jak i całej komórki.

BIBLIOGRAFIA

1. Grochla K., Polys K.: Influence of the Handoff Threshold Hysteresis on Heterogeneous Wireless Network Performance. Proceedings of 7th International Working Conference HET-NETs 2013, Ilkley 2013.
2. Giambene G., Yahiya T. A.: LTE planning for Soft Frequency Reuse. Wireless Days (WD), 2013 IFIP. IEEE 2013.
3. Varga A.: The OMNeT++ Discrete Event Simulation System (<http://www.omnetpp.org>). European Simulation Multiconference (ESM2001), Prague, Czech Republic 2001.
4. Rappaport T.S.: Wireless communications Principles and practice. 2nd Ed., Prentice Hall, 2001.
5. Erceg V., Greenstein L. J., Tjandra S. Y., Parkoff S. R., Gupta A., Kulic B., Julius A. A., Bianchi R.: An Empirically based Path Loss Model for Wireless Channels in Suburban Environments. IEEE JSAC, Vol. 17, No. 7, July 1999, p. 1205–1211.
6. Fan J., Yin Q., Li G. Y., Peng B., Zhu X.: MCS selection for throughput improvement in downlink LTE systems. in Proc. 20th Int. Conf. Comput. Commun. Netw., 2011, ps. 1–5.
7. Ewe L., Bakker H.: Base station distributed handover optimization in LTE self-organizing networks. Personal Indoor and Mobile Radio Communications (PIMRC), 2011 IEEE 22nd International Symposium on, vol., 11-14 Sept. 2011, p. 243–247.
8. Becvar Z., Mach P.: Adaptive Hysteresis Margin for Handover in Femtocell Networks. Wireless and Mobile Communications (ICWMC), 2010 6th International Conference, 2010.
9. 3GPP, Physical layer aspects for evolved Universal Terrestrial Radio Access (UTRA), 3rd Generation Partnership Project (3GPP), TR 25.814 V7.1.0, 2006-09.
10. Chia S.T.S., Warburton R.: Handover criteria for city microcellular radio systems. Vehicular Technology Conference, 1990 IEEE 40th , vol., 6-9 May 1990, p. 276–281.
11. Zonoozi H., Dassanayak P.: Handover delay and hysteresis margin in microcells and macrocells. Personal, Indoor and Mobile Radio Communications, 1997. Waves of the Year 2000. PIMRC '97., The 8th IEEE International Symposium on, 1-4 September 1997.
12. Lee H., Kim D., Chung B., Yoon H.: Adaptive Hysteresis Using Mobility Correlation for Fast Handover. Communications Letters, IEEE , vol. 12, no. 2, p. 152–154, February 2008.
13. Helenius A.: Performance of Handover in Long Term Evolution. School of Electrical Engineering, 2011.
14. Nowak S., Nowak M., Grochla K.: Properties of Advanced Metering Infrastructure Networks Topologies. Proceedings NOMS 2014, Kraków 2014.

Wpłynęło do Redakcji 14 kwietnia 2014 r.

Abstract

In this paper we evaluated influence of handover hysteresis (also called handover margin – HM) on number of handovers and average bitrate which is derived from signal-to-noise ratio and the evaluation is made with discrete events simulation in OMNeT++ with INET framework.

On basis of simulation which consist of buildings, trees and mobile device moving between them and base stations placed in honeycomb scheme, were derived average SNR, bitrate and number of handovers and signal losts. To calculate the SNR of base stations the SUI propagation model was used - equations (1-4) [2, 5]. The power of received signal was also reduced by obstacles which where between mobile device and base station (Fig. 1). Calculated SNR is mapped to CQI (Channel Quality Indicator) and it has corresponding modulation and coding scheme (MCS) as showed in Table 2. Bitrate was derived from equations (5,6). The number of available Resource Block (RB) depends on bandwidth (BW) – Table 3.

Fig. 2 shows recorded SNR from all base stations over the time of simulation. The results of simulation depict on Fig 3 and 4 show that case with $HM=0$ is not optimal because of many handovers which are unnecessary and a lot of overhead is generated. Providing even small hysteresis can reduce handovers' number. In this scenario the best results are achieved with hysteresis between 5 and 9 dB. This values reduced number of handovers in about 50% comparing to case with 0 dB. There is only small increase in probability of connection lost, what is more undesirable. Average bitrate stays at similar level as in case with no HM.

All these results points that using hysteresis in handover procedure can improve overall network performance by reducing the signalling overhead with minimal reduction of users' throughput. In future works it is planned to add more mobile devices moving between base stations with the resource scheduler.

Adres

Konrad POŁYS: Instytut Informatyki Teoretycznej i Stosowanej Polskiej Akademii Nauk,
ul. Bałtycka 5, 44-100 Gliwice, Polska, kpolys@iitis.pl.