

УДК 621.396.1

С.О. Кравчук

Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут», Київ

## ОЦІНКА МЕТОДІВ ПЕРЕДАЧІ ОБСЛУГОВУВАННЯ ЗА ДОПОМОГОЮ ПАРАМЕТРА РІВНЯ ЯКОСТІ СИГНАЛУ

Розроблено інтегральний критерій, названий параметром рівня якості сигналу  $QoL$ , який пов'язує енергетичні та якісні показники каналу доступу, надає можливість оцінки застосування того, чи іншого методу передачі обслуговування. Даний критерій враховує рівень прийнятого сигналу, ймовірність пропання виклику, ймовірність прийому співканальної завади. На базі розробленого критерію проведено порівняння існуючих методів передачі обслуговування (пороговий, гістерезисний, комбінований порогово-гістерезисний), визначений компроміс між якістю сигналу і кількістю передач обслуговування. Результати проведених чисельних досліджень показують, що найкращий показник якості сигналу  $QoL$  має гістерезисний метод, а ефективність застосування усіх методів передачі обслуговування знижується зі збільшенням кількості передач обслуговування. При певних значеннях кількості передач обслуговування в усіх методах досягаються свої високі значення  $QoL$ . Отримані результати свідчать, що існують значні можливості для поліпшення застосувань існуючих методів передачі обслуговування, їх комбінуванні та обмеженні по кількості необхідних передач обслуговування.

**Ключові слова:** метод передачі, показники якості сигналу, інтегральний критерій.

### Вступ

На даний час розвиток сучасного інформаційного суспільства ставить вимоги до збільшення пропускної здатності систем радіодоступу, що в свою чергу, при розгортанні мереж систем стільникового мобільного зв'язку потребує зменшення радіусу стільника (до мікростільника) та збільшення кількості базових станцій (БС), що обслуговують такі стільники [1, 2]. Відповідно до цього збільшується і кількість можливих передач обслуговування (ПОБ) при русі мобільного користувача між БС мережі.

А отже, набуває все більшого значення наявність у операторів найбільш вірогідного критерію для оцінки алгоритмів ПОБ з метою вибору такого алгоритму, який буде здатен раціонально забезпечити кожному користувачеві задану для нього якість обслуговування  $QoS$  за конкурентоспроможною ціною.

Таким чином, метою даної роботи є розробка інтегрального критерію, названого параметром рівня якості сигналу, який би пов'язував енергетичні та якісні показники каналу доступу, надавав можливість оцінки застосування того, чи іншого методу (алгоритму) ПОБ.

У даній роботі будуть розглянуті класичні методи ПОБ жорсткого типу [3, 4]: пороговий, гістерезисний, комбінований порогово-гістерезисний. При пороговому методі ініціація ПОБ відбувається у випадку, коли потужність сигналу від поточної БС досить мала (менше деякого порогового значення  $T_{HO}$ ), а потужність сигналу від іншої БС більша.

Ефективність порогового метода залежить від його відношення до значення потужності сигналу в точці, де потужності сигналів від обох БС рівні.

Відповідно до гістерезисного методу ПОБ здійснюється за умови, що рівень потужності сигналу від приймаючої цільової БС вище рівня потужності сигналу від батьківської БС на деяку величину гістерезису  $H$ . На практиці ж найчастіше використовується комбінований метод.

Цей метод поєднує метод порогу і метод гістерезису. У цьому випадку ПОБ відбувається, якщо значення рівня потужності сигналу від обслуговуючої БС опускається нижче граничного, а потужність сигналу від приймаючої цільової БС більше потужності сигналу від поточної на дане значення гістерезису.

### Критерій рівня якості сигналу для оцінки методів передачі обслуговування

Розглянемо мережу стільникового мобільного зв'язку з множиною базових станцій (БС)

$$\{BC_1, BC_2, \dots, BC_M\},$$

де  $M$  – кількість БС.

Позначимо через  $v$  довільний елементарний відрізок шляху руху мобільного користувача. Для оцінки алгоритмів ПОБ розглянемо множину можливих шляхів руху  $\Theta$  користувача. Визначимо точки відліку (ТВ) як точки на елементарному відрізку шляху руху користувача, на яких проводиться вимірювання рівня прийнятого сигналу від БС. Тоді можна записати рівень сигналу від  $BC_j$ , прийнятий

в  $i$ -й ТВ, через  $S_{ij}$ . Визначимо послідовність ПОБ  $x(v)$  на елементарному відрізку  $v$  як послідовність БС, встановлених в ТВ, у вигляді

$$x = \langle b_1, b_2, \dots, b_N \rangle,$$

де  $N$  – кількість ТВ.

Для кожного елементарного відрізка шляху визначимо множину усіх можливих послідовностей ПОБ як  $X = \{x_i | 0 < i \leq M^N\}$ . Кількість ПОБ  $\beta(x)$  в послідовності ПОБ  $x$  дорівнює кількості змін в послідовності БС. Так, послідовність ПОБ  $x = \{BC_1, BC_1, BC_2, BC_3, BC_3, BC_1\}$  має  $\beta(x) = 3$ .

Для заданої послідовності ПОБ  $x$  визначимо  $S_i(x) = S_{ij}$  таким, що  $BC_j = b_i$ , де  $b_i \in x$ . Прийmemo величину  $S_{\min}$  як мінімальне значення рівня сигналу на приймачі, нижче якого якість сигналу не відповідає вимогам, закріпленими за користувачем; і величину  $S_{\max}$  – рівень сигналу, вище за який покращення характеристики сигналу незначне.

Для заданого елементарного відрізка шляху і відповідній йому послідовності ПОБ запишемо наступні можливі виміри якості сигналу:

– середній рівень прийнятого сигналу

$$\text{СРПС}(x) = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N S_i(x);$$

– кількість допустимих точок відліку КДТВ( $x$ ), що представляє собою кількість ТВ послідовності ПОБ з рівнем сигналу більшим за  $S_{\min}$ ; прийнявши

$$\Psi_x = \{i | S_i(x) \geq S_{\min}\},$$

маємо, що КДТВ( $x$ ) відповідає кількості елементів в послідовності  $\Psi_x$ , тобто КДТВ( $x$ ) =  $|\Psi_x|$ ;

– параметр рівня якості сигналу (РЯС, Quality of Level)  $QoL(x)$ , який пропонується в даній роботі, визначається за допомогою  $A(x)$  та  $B(x)$ ;  $A(x)$  – складова РЯС, яка враховує покращення якості сигналу і визначається як відношення

$$\sum_{i \in \Psi_x} \xi_i(x) / |\Psi_x|,$$

де  $\xi_i(x) = S_i(x)$  при умові, що  $S_i(x) < S_{\max}$ , тобто  $\xi_i(x) = S_{\max}$ ;  $B(x) = \delta N(x)$ ;  $N(x) = (N - |\Psi_x|)$  – кількість відліків з рівнем сигналу меншим ніж  $S_{\min}$ ;  $\delta$  – штраф за недозволену ТВ.

Прийmemo за  $p$  максимум, при якому підтримується пропорційність ТВ з сигнальною якістю нижче  $S_{\min}$ , тобто  $N(x)/N \leq p$ .

Якщо  $|\Psi_x \neq 0|$ , то РЯС може приймати мінімальне значення в двох випадках:

при  $N(x)/N = p$ ;

при  $\sum_{i \in \Psi_x} \xi_i(x) / |\Psi_x| = S_{\min}$ .

Тоді параметр  $\delta$  може бути таким, що його мінімальне значення більше або рівне нулю і буде визначатись із виразу

$$\delta \leq A(x)/N(x) = S_{\min}/pN.$$

При цьому  $\delta$  прийнята лінійною функцією. В результаті отримаємо

$$QoL(x) \geq A(x) - S_{\min} (N - |\Psi_x|) / pN.$$

Виміри СРПС, ЛДТВ і РЯС визначаються для будь-якого  $x$  на довільному відрізку шляху  $v \in \Theta$ . Для окремого алгоритму ПОБ має місце принаймі одна оптимальна послідовність ПОБ для даного  $v$  згідно з основними критеріями алогитму. Припускаючи, що усі елементарні відрізки є незалежними і однаково важливими, то різні алгоритми ПОБ можуть бути оцінені шляхом усереднення значень величин вимірів по всім елементарним відріzkам. Тоді усереднене значення  $QoL$  можна записати у наступному вигляді

$$\hat{QoL} = \sum_v QoL(x(v)) / |\Theta|.$$

Параметр  $p$  відповідає ймовірності пропадання виклику  $P_{\Pi}$  (сигналу запиту по каналу сигналізації). На практиці, виклик відкидається (пропадає), якщо має місце або високий рівень завад в радіоканалі, або рівень сигналу нижче певного порогу  $S_{\Pi} < S_{\min}$  (умова пропадання виклику) зберігається протягом  $d$  послідовних вибірок в послідовності ПОБ.

Тоді ймовірності пропадання виклику на елементарному шляху  $v$  з  $N_v$  послідовних ТВ ( $N_v > d$ ) задається наступною рекурсивною формулою:

$$P_{\Pi v}(N_v) = P_{\Pi v}(N_v - 1) + Z_v(1 - P_{\Pi v}(N_v - d - 1)),$$

де  $Z_v = P_v^d(1 - P_v)$ ;

$$P_v = 1 - (1 - \sigma_v)(1 - \mu_v) -$$

ймовірність наявності єдиної ТВ, що задовольняє умові пропадання виклику;  $\sigma_v$  – ймовірність прийому рівня сигналу нижче  $S_{\Pi}$ ;  $\mu_v$  – ймовірність прийому співканальної завади вище певного значення;  $P_v^d = P_{\Pi v}(N_v = d)$ .

Тоді усереднене значення ймовірності пропадання виклику по  $|\Theta|$  елементарним шляхам складає

$$P_{\Pi}(N_v, d) = \sum_{v=1}^{|\Theta|} P_{\Pi v}(N_v) / |\Theta|.$$

Враховуючи кількість ТВ  $N_v$ , можна визначити величину  $d$  так, щоб  $P_{\Pi}(N_v, d)$  була нижчою за певний поріг, який відповідає заданим вимогам на якість обслуговування  $QoS$ . Величина  $p$  виби-

рається із умови виконання нерівності

$$p \geq d/N_v .$$

Знаючи величину  $p$  для даної послідовності ПОБ елементарного шляху з  $N = N_v$ . ТВ можна розрахувати мінімальне значення QoL.

Для того, щоб можна було провести порівняння різних методів ПОБ доцільно ввести частоту слідування QoL на одну ПОБ:

$$\tau = \hat{QoL} / \hat{\beta} ,$$

де 
$$\hat{\beta} = \sum_v [\beta(x(v))] / |\Theta| .$$

### Результати чисельного моделювання

Використовуючи зазначені раніше якісні показники сигналу шляхом моделювання в середовищі Матлаб було проведено порівняння різних методів ПОБ.

Розглянуто мережу із чотирьох сусідніх стільників ( $M = 4$ ) з радіусом дії 100 м кожний. Мережа розташована на плоскій поверхні, а координати БС в м наступні: (150, 180), (300, 105), (300, 280) і (450, 180).

Випадковим чином генеруються  $\eta = 1000$  елементарних шляхів, кожен з  $N = 100$ , де кожна пара послідовних точок розташована на один метр одна від одної.

Для генерації рівня сигналу в кожній ТВ уздовж всіх траєкторій руху мобільного користувача була прийнята логарифмічно-нормальна модель по-

ширення радіохвиль [5]:

$$S_{ij} = K_1 - K_2 \lg(r) + F ,$$

де  $K_1 = 80$ ;  $K_2 = 30$ ;  $r$  – відстань до БС;  $F$  – перемінна з гаусівським розподілом ( $N(0, \sigma^2)$ ), яка враховує ефект затінення.

Прийmemo як і в [4, 6]  $\sigma = 3$  дБ,  $S_{\min} = 15$  дБ і  $S_{\max} = 1,5 S_{\min}$ .

Усі елементарні шляхи являють собою прямі лінії, які починаються від точок в квадратній області  $\{(150, 130), (250, 130), (250, 230), (150, 230)\}$ .

Їх напрямки в кутових величинах вибираються випадковим чином на відріжку від  $0^\circ$  до  $360^\circ$ .

Очевидно, що  $P_n$  є спадною функцією від  $d$  і при  $d \geq 3$  дає відкидання виклику з ймовірністю не більше 1%. Тому значення  $p$  може бути вибране таким, що

$$p \geq d/N = 0,03 .$$

Для моделювання задіяно  $p = 0,12$ .

Значення QoL і  $\beta$ , що представлені на рис. 1, отримані шляхом змінювання (від 1 до 30 дБ) порогу  $T_{HO}$  в пороговому методі і комбінованому методі поріг-гістерезис (з 3 дБ гістерезисним запасом), а також порогу гістерезису  $H$  в гістерезисному методі, відповідно.

Із рис. 1 видно, що найкращий показник якості сигналу QoL має гістерезесний метод, а ефективність застосування усіх методів ПОБ знижується зі збільшенням кількості ПОБ.

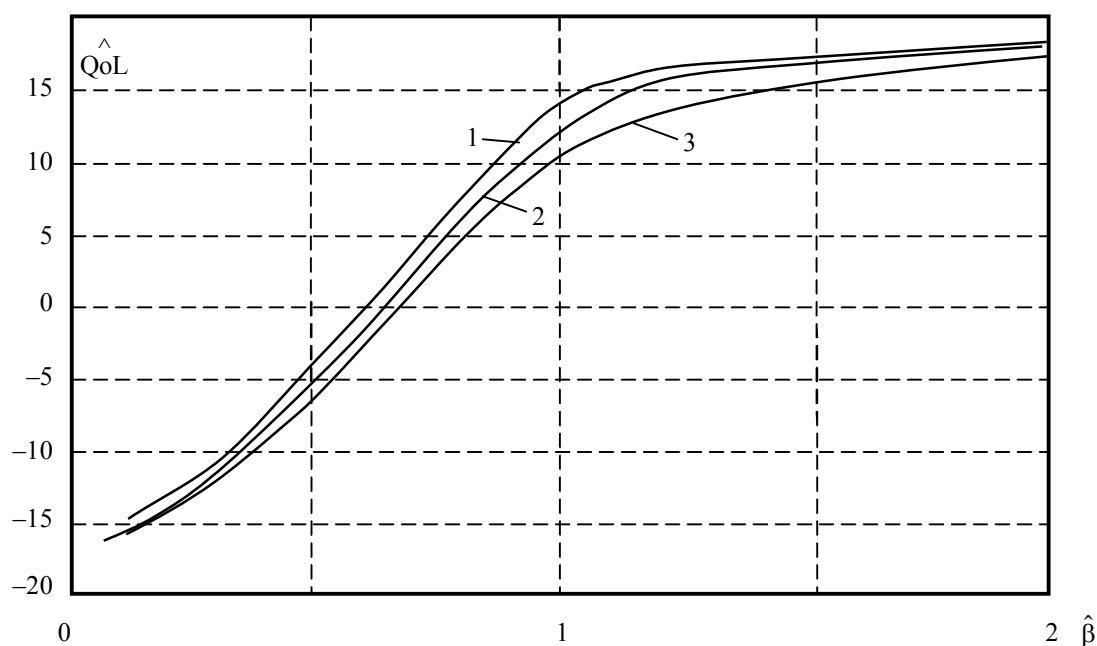


Рис. 1. Залежність середніх значень параметру QoL від кількості ПОБ:  
1 – гістерезису; 2 – поріг+гістерезис; 3 – пороговий

Усі методи ПОБ при певному зростанні  $\beta$  досягають своїх високих значень QoL, але подальше зростання значень  $\beta$  не дає відчутного поліпшення показника якості сигналу, а отже і не є ефективним. Звідси можна визначити зону найбільш раціональних значень  $\hat{\beta}$ , яка в даному випадку складає від 1,1 до 1,3.

### Висновки

Розроблено інтегральний критерій, названий параметром рівня якості сигналу QoL, який пов'язує енергетичні та якісні показники каналу доступу, надає можливість оцінки застосування того, чи іншого методу передачі обслуговування. Даний критерій враховує рівень прийнятого сигналу, ймовірність пропадання виклику (сигналу запиту по каналу сигналізації), ймовірність прийому співканальної завади.

На базі розробленого критерію проведено порівняння існуючих методів передачі обслуговування (пороговий, гістерезисний, комбінований порогово-гістерезисний) і визначений компроміс між якістю сигналу і кількістю ПОБ.

Результати проведених чисельних досліджень показують, що найкращий показник якості сигналу QoL має гістерезисний метод, а ефективність застосування усіх методів ПОБ знижується зі збільшенням кількості ПОБ. При певних значеннях кількості передачі обслуговування в усіх методах досягаються свої високі значення QoL, і подальше зростання кількості ПОБ вже не дасть відчутного поліпшення показника якості сигналу, а отже і не буде ефектив-

ним. Визначена зона найбільш раціональних значень  $\hat{\beta}$ , яка в даному випадку складала від 1,1 до 1,3.

Отримані результати свідчать, що існують значні можливості для поліпшення застосувань існуючих методів ПОБ, їх комбінуванні та обмеженні по кількості необхідних передач обслуговування.

### Список літератури

1. Льченко М.Ю. Телекомунікаційні системи широкосмугового радіодоступу / М.Ю. Льченко, С.О. Кравчук. – К.: Наукова думка, 2009. – 312 с.
2. Льченко М.Ю. Основні тенденції розвитку сучасних ТС // М.Ю. Льченко, С.О. Кравчук // Стан та перспективи розвитку інформатики в Україні. – К.: Наукова думка, 2010. – С. 757-761.
3. Системи зв'язку з рухомими об'єктами / С.О. Кравчук, О.Г. Голубничий, А.Г. Тараненко, В. Г. Попанов, О.П. Ткаліч. – К.: Спринт-Сервіс, 2012. – 452 с.
4. Handoff algorithms based on fuzzy classifiers / H. Maturino-Lozoya, D. Munoz-Rodriguez, F. Jaimes-Romero, H. Tawfik // IEEE Trans. Vehic. Technol. – 2000. – Vol. 49, № 11. – P. 2286-2294.
5. Correlation Models for Shadow Fading Simulation / I-Kang Fu, Chi-Fang Li, Ting-Chen Song, Wern-Ho Sheen // IEEE 802.16m-07/005r2, "Call for Contributions on Evaluation Methodology and Key Criteria for P802.16m – Advanced Air Interface" 2007-3-5. – <http://www.ieee802.org>.
6. Wong K.D. A pattern recognition system for handoff algorithms / K.D. Wong, D.C. Cox // IEEE J. Select. Areas Commun. – 2000. – Vol. 18, № 7. – P.1301-1312.

Надійшла до редколегії 8.06.2015

**Рецензент:** д-р техн. наук, проф. С.В. Ленков, Військовий інститут Київського національного університету ім. Тараса Шевченка, Київ.

### ОЦЕНКА МЕТОДОВ ПЕРЕДАЧИ ОБСЛУЖИВАНИЯ С ПОМОЩЬЮ ПАРАМЕТРА УРОВНЯ КАЧЕСТВА СИГНАЛА

С.А. Кравчук

*Разработан интегральный критерий, названный параметром уровня качества сигнала QoL, который связывает энергетические и качественные показатели канала доступа, предоставляет возможность оценки применения того или иного метода передачи обслуживания. Данный критерий учитывает уровень принимаемого сигнала, вероятность пропадания вызова, вероятность приема соканальной помехи. На базе разработанного критерия проведено сравнение существующих методов передачи обслуживания (пороговый, гистерезисный, комбинированный порогово-гистерезисный), определенный компромисс между качеством сигнала и количеством передач обслуживания. Результаты проведенных численных исследований показывают, что лучший показатель качества сигнала QoL имеет гистерезисный метод, а эффективность применения всех методов передачи обслуживания снижается с увеличением количества передач обслуживания. При определенных значениях количества передач обслуживания во всех методах достигаются свои высокие значения QoL. Полученные результаты свидетельствуют, что существуют значительные возможности для улучшения приложений существующих методов передачи обслуживания, их комбинирования и ограничения по количеству необходимых передач обслуживания.*

**Ключевые слова:** метод передачи, показатели качества сигнала, интегральный критерий.

### ASSESSMENT HANDOVER METHODS WITH THE PARAMETER OF SIGNAL QUALITY LEVEL

S.O. Kravchuk

*Designed integral criterion, named parameter of signal quality level (QoL), which connects the energy and quality indicators of the access channel, allows evaluation of the application of a handover methods. This criterion takes into account the level of the received signal, the probability of failure call reception, interference probability. On the basis of criteria developed by the comparison of existing handover methods (threshold, hysteresis, combined marginally-hysteresis), a trade-off between the quality of the signal and the number of handoffs. The results of numerical studies show that the best indicator of signal quality QoL has hysteresis method, and the effectiveness of all methods decreases with increasing number of handoffs. For certain values of the number of handovers in all methods achieved their highest values QoL. The results indicate that there are significant opportunities to improve the application of existing handover methods, their combination and limitation on the number of necessary handovers.*

**Keywords:** method of transmission, signal quality indicators, integral criterion.