

УДК 621.396

О.Ю. СТРЮК<sup>1</sup>, О.О. ЛАВРУТ<sup>2</sup><sup>1</sup> *Військовий інститут телекомунікацій та інформатизації НТУ України «КПІ», Київ*<sup>2</sup> *Академія сухопутних військ ім. гетьмана Петра Сагайдачного, Львів*

## МЕТОД ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ СПРАВЕДЛИВОГО РІВНЯ СПРИЙНЯТТЯ ЯКОСТІ ОБСЛУГОВУВАННЯ АБОНЕНТІВ МОБІЛЬНОЇ РАДІОМЕРЕЖІ

Проведений аналіз сприйняття якості обслуговування (QoE) як цільової функції задач мережного керування. Доведена можливість і перспективність використання значення сприйняття якості обслуговування в якості показника в задачах мережного керування. Визначена задача забезпечення справедливого рівня QoE абонентів мобільної радіомережі та запропоновано новий метод та алгоритм її вирішення. Запропонований метод відрізняється від відомих використанням у якості цільової функції оптимізації – QoE, залежної від пропускної спроможності, рівня завадостійкості та способу реалізації інформаційної послуги. Результати, яких дозволяє досягти запропонований метод, перевищують результати стандартних та відомих перспективних методів розподілу ресурсів радіомереж. Показано, що підвищення універсальності запропонованого методу може бути досягнуто: підвищенням точності існуючих методів об'єктивного оцінювання сприйняття якості обслуговування користувачів та вдосконаленням моделей, які використовуються для його експериментального визначення; розширенням переліку видів інформаційних послуг, для яких розроблені методи об'єктивного оцінювання сприйняття якості обслуговування користувачів; розробкою нових методів транскодуювання даних та адаптивного подання інформації в інформаційно-телекомунікаційних мережах.

**Ключові слова:** мобільні радіомережі, керування ресурсами радіомереж, сприйняття якості обслуговування (QoE), справедливий рівень QoE.

### Вступ

Мобільні радіомережі (Ad Hoc Wireless Networks) – це новий перспективний принцип побудови ширококутних радіомереж, відмінною особливістю якого є самоорганізація архітектури мережі, що забезпечує реалізацію таких можливостей [1, 2]:

- використання безпроводових транспортних каналів при побудові мережі за топологією «кожен з кожним»;
- масштабування мережі (зміна площі зони покриття і щільності інформаційного забезпечення) у режимі самоорганізації;
- стійкість мережі до втрати (відмови) окремих елементів;
- зменшення вартості розгортання мережі.

Одним з найбільш критичних факторів, які впливають на розвиток мобільних радіомереж (MP), є складність забезпечення для кожного з користувачів MP заданого рівня якості обслуговування (QoS, Quality of Service) – визначеної у рекомендації ITU – T P.800 як «сукупний ефект характеристик мережного сервісу, який визначає ступінь задоволеності споживача даного сервісу». Забезпечення QoS у MP потребує розробки і впровадження спеціалізованих механізмів і протоколів оперативного керування радіомережами [3, 4].

### 1. Сприйняття якості обслуговування як інтегральний показник в задачах мережного керування

Протягом останніх десяти років була розроблена концептуальна модель крос-рівневої (cross-layer) архітектури систем оперативного керування радіомережами [5, 6]. Крос-рівнева архітектура побудови системи оперативного керування радіомережі передбачає координацію та інтеграцію рівнів еталонної взаємодії відкритих систем (OSI) за цілями і функціями керування та інтелектуалізацію процесів прийняття рішення. Основні труднощі при побудові крос-рівневої архітектури керування радіомережею – це визначення необхідних параметрів, які будуть використовуватись між рівнями OSI та функціями керування, які дозволяють отримати користувацьку та (або) мережеву, зонову оптимізацію [6].

Складний характер взаємних зв'язків між параметрами мережі, неоднозначність їх впливу на якість обслуговування, визначає нетривіальність визначення значень цільової функції крос-рівневої оптимізації як функції декількох змінних. Тому в моделях керування мережами [7-11] цільова функція (функція корисності), задається як функція, залежна від однієї змінної - пропускної спроможності.

У якості інтегрального показника при оцінюванні оптимальності керування у радіомережі, безпосередньо пов'язаного з її основним призначенням – забезпеченням передавання інформації із заданою якістю, що враховує як вплив параметрів мережі, так і вплив прикладного програмного забезпечення, - може бути використане сприйняття користувачем якості інформаційної послуги [12].

Сприйняття якості обслуговування (QoE - quality of experience) – це оцінка якості інформаційного сервісу з точки зору сприйняття користувачем як споживачем послуг даного сервісу. Рекомендація ITU-T P.800 встановлює для оцінювання якості сприйняття користувача п'ятибальну шкалу MOS (Mean Opinion Score – середнє значення експертних оцінок).

Протягом останніх років були розроблені та пройшли міжнародну верифікацію методи об'єктивного оцінювання QoE для:

- служб передавання мови, рекомендації ITU-T G.107, P.563, P.862;
- служб передавання відео, рекомендація ITU-T J.247;
- служб трансляції аудіо, рекомендація ITU-R BS.1387;
- служб передавання даних, рекомендації ITU-T G.1030, G.1040.

Наявність об'єктивних методів оцінювання QoE дозволяє автоматизувати процедуру визначення QoE як величини, залежної від широкого спектру показників мережі. Для кожної з функціонуючих у мережі інформаційних служб можуть бути визначені значення багатовимірного масиву значень QoE -  $\{q_i\}$ , залежні від виділених ресурсів, параметрів мережі, з урахуванням функціональності прикладного програмного забезпечення (кінцевого абонентського обладнання), яке реалізовує дану послугу

У роботі [13] доведена ефективність використання QoE у якості показника при вирішенні задачі максимізації корисності МР на основі показників QoE. Метою представленої роботи є розробка методу забезпечення справедливого рівня сприйняття якості обслуговування абонентів МР.

## **2. Постановка задачі крос-рівневої оптимізації для забезпечення справедливого рівня QoE абонентів мобільної радіомережі**

Технологія мобільних радіомереж використовується при побудові радіомереж масштабу WMAN, зокрема, для побудови радіомереж управління військами. МР складається з вузлів радіомережі (ВР) кожен з яких (або значна частка) виконує як функції абонентської станції так і функції ретранслятора. Керування МР може бути централізованим (функ-

цію керування мережею приймає на себе один із вузлів), частково децентралізованим (мережа поділяється на декілька сегментів, у кожному з яких визначається керуючий вузол), децентралізованим.

Основними причинами зменшення рівня QoS у МР є обмеженість радіоресурсу, багатострибковий принцип передавання, нестабільність радіоліній і мобільність ВР. Найбільш вагомим ресурсом МР є пропускна спроможність радіоінтерфейсів ВР [14], тому оптимізаційна задача, рішення якої пропонується, зосереджена на забезпеченні справедливого рівня QoE абонентів МР за рахунок керування розподілом пропускної спроможності, кодування аудіовізуальних даних зі зміною швидкістю і з урахуванням рівня завадостійкості каналів між мережними пристроями. Вирішення запропонованої задачі забезпечує підвищення ефективності використання радіоресурсу МР.

**Початкові припущення.** Оптимізаційна задача вирішується, виходячи із припущення про реалізацію в технології побудови радіомережі наступних методів забезпечення інформаційного обміну і керування мережею:

- режим керування мобільною радіомережею централізований, для зв'язку між елементами мережі використовується однаковий радіоінтерфейс;
- наявність механізмів класифікації, маршрутизації та відокремленої обробки інформаційних потоків, керування чергами, планування передавання;
- детермінований доступ до радіоканалу з можливістю виділення кожному інформаційному потоку певного значення пропускної спроможності з дискретністю  $\Delta r$ , радіус передачі між вузлами дорівнює радіусу інтерференції.
- використання в МР проактивних методів маршрутизації із забезпеченням побудови на керуючому вузлі матриці радіозв'язності з відображенням стану (рівня завад) радіоліній;
- наявність службового зв'язку між вузлами радіомережі з можливістю отримання інформації про рівень завадостійкості радіоканалу на приймальній стороні;
- можливість транскодування аудіовізуальних даних - зміни в реальному часі швидкості кодування та (або) формату представлення даних як на кінцевих, так і на транзитних вузлах мережі.

Аналіз наведених припущень показує, що всі зазначені механізми, крім транскодування, реалізовані в сучасних технологіях побудови МР [15, 16]. Сучасні методи кодування аудіовізуальних даних передбачають можливість кодування зі змінною швидкістю без істотної зміни формату представлення даних, що створює умови для здійснення операції транскодування в реальному часі як у кінцевих так і в транзитних вузлах МР [17].

**Вихідні дані.** При вирішенні оптимізаційної задачі використовуються наступні вихідні дані:  $m$  – кількість ВР у мережі;  $\mathbf{G}$  – матриця радіозв'язності вузлів мережі;  $R$  – значення пропускної спроможності радіоінтерфейсів ВР, біт/с;  $\Delta r$  – шаг зміни пропускної спроможності, яка може виділятися ВР для інформаційних потоків – ресурсний елемент, біт/с;  $k$  – кількість інформаційних потоків, які конкурують за доступ; способи кодування інформації в інформаційних потоках;  $\mathbf{M}_i$  – матриці маршрутів проходження інформаційних потоків у МР;  $p_i$  – середня імовірність втрати пакету для кожного інформаційного потоку,  $i \in 1, \dots, k$ ; – масив значень QoE по шкалі MOS в залежності від швидкості потоку, імовірності втрати пакету для кожного з інформаційних потоків та обраного способу кодування (характеристик прикладної реалізації послуги):

$$\{q_i(r_i, p_i, E_i)\} = \{q_i(\Delta r, p_i, E_i), q_i(2\Delta r, p_i, E_i), \dots, q_i(B_i\Delta r, p_i, E_i)\},$$

де  $B_i = \lfloor R_i^{\max} / \Delta r \rfloor$ ;

$R_i^{\max}$  – максимально необхідна пропускна спроможність для інформаційного потоку  $i$ , біт/с.

**Необхідно** – знайти такий вектор розподілу пропускної спроможності між інформаційними потоками у mesh-мережі, при якому виконується рівність

$$q_1(r_1, p_1, E_1) = \dots = q_k(r_k, p_k, E_k) \quad (1)$$

за умови

$$\Delta R \times r \leq C,$$

де  $\mathbf{r}^* = (r_i, i = 1, \dots, k)$  – вектор розподілу пропускної спроможності між інформаційними потоками, який забезпечує вирішення задачі (1);

$\Omega$  – множина можливих значень вектору розподілу пропускної спроможності між  $k$  – інформаційними потоками, при дискретності зміни пропускної спроможності  $\Delta r$ ;

$\Delta R = (\Delta R_{ji})_{(m+1) \times k}$  – матриця розподілу пропускної спроможності радіоінтерфейсів ВР між інформаційними потоками;

$\tilde{\mathbf{N}} = (R_j, j = 1, \dots, m+1)$  – вектор пропускної спроможності радіоінтерфейсів ВР.

Множина можливих значень вектору розподілу пропускної спроможності відповідає стандартному набору швидкостей передавання, і в силу цього є дискретною, компоненти рішення повинні відповідати цій дискретній множині. Оскільки кожному з фіксованих дискретних значень  $r_i$ , може відповідати неперервне значення QoE, обмежене лише діапазоном від 1 до 5, отримати точне аналітичне рішення задачі (1) є неможливим.

Для вирішення задачі забезпечення справедливого рівня QoE у МР, пропонується використовувати дискретну множину

$$\{r'_{i,s}(q'_{i,s}, p_i, E_i)\},$$

значення якої визначаються за наступним правилом

$$r'_{i,s}(q'_{i,s}, p_i, E_i) = n\Delta r,$$

якщо

$$q_i((n-1)\Delta r, p_i, E_i) < q'_{i,s} \leq q_i(n\Delta r, p_i, E_i),$$

де  $q'_{i,s}$  – значення PQoS для інформаційного потоку  $i$ , квантоване з кроком  $\Delta q$ ,  $s = 1 \dots 5/\Delta q$ ;  $n = 1 \dots R/\Delta r$ .

**Визначення.** Розподіл пропускної спроможності між інформаційними потоками МР  $\{r'_{i,s}\}^*$  вважається QoE – справедливим, якщо виконується

$$q'_{1,s} = q'_{2,s} = \dots = q'_{k,s} = s\Delta q, \quad (2)$$

за умови

$$\Delta R \times \{r'_{i,s}\}^* \leq C.$$

Рішення оптимізаційної задачі (2) може бути отримано із використанням поетапної ітераційної процедури Вибір даного методу рішення обумовлений:

- адитивним характером цільової функції оптимізації;

- залежністю рішення про виділення частки пропускної спроможності, яке приймається в кожному із циклів процедури, лише від величини нерозподіленої (вільної) пропускної спроможності.

Для вирішення задачі (2) пропонується алгоритм, найближчим прототипом якого є алгоритм, запропонований у роботі [18].

Оригінальний алгоритм використовувався для вирішення задачі забезпечення справедливого рівня QoE у сегменті «базова станція – мобільний абонент».

### 3. Алгоритм забезпечення справедливого рівня QoE абонентів мобільної радіомережі

Алгоритм крос-рівневої оптимізації для забезпечення справедливого рівня QoE абонентів МР ініціюється керуючим вузлом МР у випадку необхідності перерозподілу ресурсів мережі при початку (закінченні) сеансу зв'язку, або з заданою періодичністю, яка, згідно умови стохастичної стійкості алгоритмів керування розподілом ресурсів мережі [19], має відповідати співвідношенню:

$$T_r \approx T_c < T_s, \quad (3)$$

де  $T_r$  – середній час, необхідний для здійснення розподілу ресурсів;

$T_c$  – інтервал кореляції зміни параметрів мережі;

$T_s$  – середня тривалість сеансів зв'язку.

У кожному циклі роботи алгоритму визначається:

- чергове дискретне значення QoS –  $s\Delta q$ ;

- для кожного з інформаційних потоків при дійсному рівні  $r_i$  та встановленій реалізації послуги на прикладному рівні визначається складова розподілу пропускної спроможності між інформаційними потоками, (детальний опис якої наведено у [18]).

Оскільки під витратним ресурсом розуміється пропускна спроможність радіоінтерфейсів ВР, то витрати ресурсів для передавання інформаційного потоку  $i$  –  $c_i$ , обчислюються за наступним виразом:

$$\tilde{n}_i = \left( (2n_1^i - 2) + n_2^i + n_3^i \right) u \Delta r, \quad (4)$$

де  $n_1^i$  – кількість ВР, через які проходить маршрут інформаційного потоку  $i$  у МР;

$n_2^i$  – кількість ВР, які здійснюють прийом інформаційних потоків, та є сусідами ВР, які здійснюють передачу інформаційного потоку  $i$  у МР;

$n_3^i$  – кількість ВР, які здійснюють передачу інформаційних потоків, та є сусідами ВР, які здійснюють прийом інформаційного потоку  $i$  у МР;

$u$  – кількість ресурсних елементів, які виділяються інформаційному потоку  $i$ .

Обґрунтування виразу (4) наведено у роботі [13].

Середня імовірність втрати пакету –  $p_i$  для маршруту передавання інформаційного потоку визна-

чається наступним чином. Для маршрутів, які створюються,  $p_i$  визначається аналітичними методами, на основі інформації про імовірність виникнення помилки у радіоканалах, з яких складається маршрут. Для маршрутів, які вже існують,  $p_i$  може визначатись як аналітично, так і на основі статистичної інформації мережних протоколів (наприклад, RTP, SIP).

Виконання алгоритму закінчується у випадку надання кожному з інформаційних потоків максимально необхідної пропускної спроможності  $R_i^{\max}$  (якщо МР функціонує у недовантаженому режимі), або у випадку вичерпання пропускної спроможності радіоінтерфейсів, через які проходять інформаційні потоки, для яких  $r_i < R_i^{\max}$ .

Результатами виконання алгоритму є вектор розподілу пропускної спроможності між інформаційними потоками, який забезпечує вирішення задачі (2), матриця розподілу пропускної спроможності радіоінтерфейсів ВР між інформаційними потоками.

#### 4. Математичне моделювання запропонованого методу забезпечення справедливого рівня QoE абонентів мобільної радіомережі

Для експериментальної перевірки ефективності використання запропонованого методу із використанням системи комп'ютерної математики Matlab створена математична модель забезпечення справедливого рівня QoE абонентів мобільної радіомережі на основі показників QoE. У математичній моделі використовується структура мобільної радіомережі, яка складається з трьох ешелонів ВР. Радіозв'язність між ВР відповідає наведеній на рис. 1.

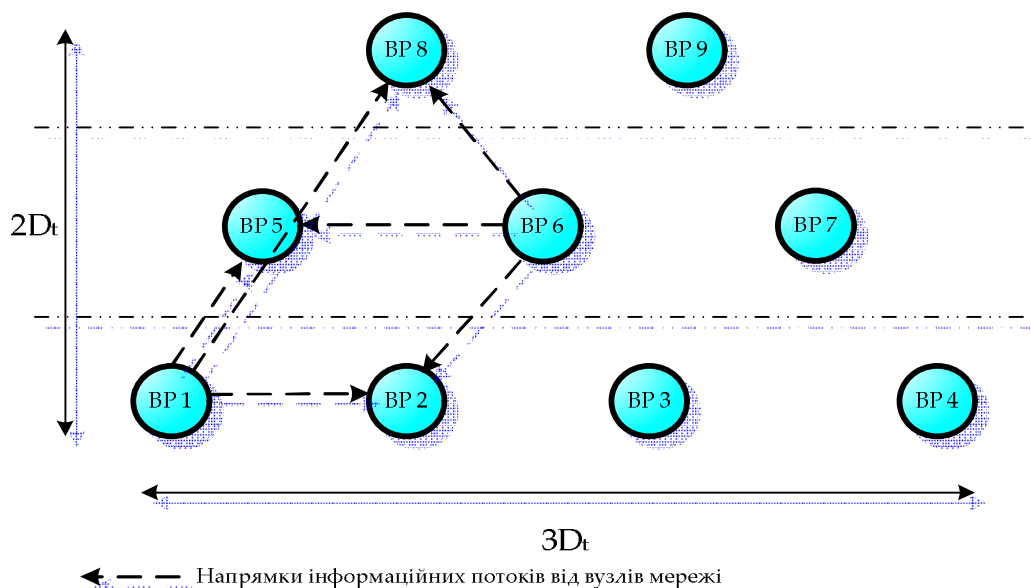


Рис. 1. Структура та інформаційні потоки у мобільній радіомережі при моделюванні

Мережа, що моделюється має глибину  $2D_t$ , розмір по фронту  $3D_t$ , де  $D_t$  – радіус передавання вузлів мережі. Перший ешелон складається з 4 ВР, другий – 3, третій – 2.

Вихідні дані мають такі значення:

R- максимальне значення пропускної спроможності радіоінтерфейсів мережних пристроїв - 1024 Кбіт/с;

$\Delta r$  – крок зміни пропускної спроможності, яка може виділятися базовою станцією для інформаційних потоків - 4 Кбіт/с;

Кожний з ВР формує інформаційний потік одного з 2 класів (клас потоку при кожному запуску алгоритму обирається випадково):

- передавання мови із використанням кодексу SPEEX – мінімальна швидкість потоку 4 Кбіт/с, максимальна – 28 Кбіт/с, значення QoE визначаються за апроксимаційними залежностями наведеними у [20];

- передавання даних - мінімальна швидкість потоку 4 Кбіт/с, максимальна – 28 Кбіт/с.

Напрямки інформаційних потоків задаються наступним чином – кожен ВР формує 3 інформаційні потоки. Інформаційний потік до найближчого сусіда в межах ешелону, до сусіда (сусідів – для вузлів другого ешелону) в найближчому ешелоні, до сусіда першого порядку в дальньому ешелоні. В якості маршрутів використовуються маршрути з мінімальною кількістю переприйомів. Імовірність втрати пакету для кожного з радіоканалів у МР задається при кожному запуску алгоритму як випадкове значення з рівномірним законом розподілу у діапазоні 0,01 – 0,2.

Для оцінювання результатів використання запропонованого методу пропонуються наступні показники:

1. Стандартне відхилення значень QoE інформаційних потоків у мережі

$$STD = \sqrt{\sum_{i=1}^k (q_i - q_{cp})^2 / k},$$

де  $q_i$  – значення QoE, забезпечення потоку  $i$ ;

$q_{cp}$  – середне значення QoE інформаційних потоків у мережі.

2. Індекс справедливості розподілу ресурсів JFI (Jain fairness index) запропонований у [22] (справедливому розподілу відповідає JFI = 1)

$$JFI = \left( \sum_{i=1}^k q_i \right)^2 / k \times \left( \sum_{i=1}^k q_i^2 \right).$$

У табл. 1 наведена середнє значення стандартного відхилення та індексу справедливості JFI як випадкової величини, визначеної при 300 запусках описаної математичної моделі, для запропонованого методу забезпечення справедливого рівня QoE абонентів МР, забезпечення справедливого рівня QoE на основі значень функції корисності, і при використанні справедливого розподілу пропускної спроможності мережі.

Розподіл ресурсів мережі на основі показників QoE дозволяє досягти переваги у рівномірності розподілу QoE у порівнянні із рівномірністю розподілу QoE, яких дозволяє досягти управління розподілом ресурсів мережі на основі пріоритетності аудіовізуального трафіку і управління розподілом ресурсів мережі на основі значень функції корисності.

У табл. 2 наведений середній час виконання алгоритму, який реалізує запропонований метод, як випадкової величини отриманої при 200 запусках математичної моделі при 27, 54 і 108 інформаційних потоках у мережі.

Таблиця 1

Середнє значення стандартного відхилення та індексу справедливості JFI

	Розподіл пропускної спроможності	Розподіл на основі функції корисності	Розподіл на основі QoE
Середнє значення STD	0,65	0,47	0,35
СКО	0,03	0,05	0,04
Середнє значення JFI	0,69	0,76	0,85
СКО	0,08	0,05	0,04

Таблиця 2

Середній час виконання алгоритму

	Кількість інформаційних потоків		
	27	54	108
Середній час виконання алгоритму	0,2	0,58	0,85
СКО	0,03	0,07	0,08

Аналіз отриманих часових показників підтверджує порівняно низьку обчислювальну складність запропонованого алгоритму, а також дозволяє зробити висновок про можливість виконання умови (3),

з огляду на те, що для радіомереж УКХ діапазону інтервал кореляції зміни параметрів мережі під впливом повільних згасань і мобільності користувачів дорівнює одиницям – десяткам секунд.

## Висновки

У статті доведена можливість і перспективність використання значення сприйняття якості обслуговування в якості показника в задачах мережного керування.

1. Запропоновано новий метод та алгоритм забезпечення справедливого рівня QoE абонентів мобільної радіомережі. Запропонований метод відрізняється від відомих використанням у якості цільової функції оптимізації – QoE, залежної від пропускної спроможності, рівня завадостійкості та способу реалізації інформаційної послуги. Результати, яких дозволяє досягти запропонований метод, перевищують результати стандартних та відомих перспективних методів розподілу ресурсів радіомереж.

2. Підвищення універсальності запропонованого методу може бути досягнуто:

- підвищенням точності існуючих методів об'єктивного оцінювання сприйняття якості обслуговування користувачів та вдосконаленням моделей, які використовуються для його експериментального визначення;

- розширенням переліку видів інформаційних послуг, для яких розроблені методи об'єктивного оцінювання сприйняття якості обслуговування користувачів;

- розробкою нових методів транскодування даних та адаптивного подання інформації в інформаційно-телекомунікаційних мережах.

Можливим напрямком подальших досліджень передбачається розробка вдосконаленого методу, у якому задача керування QoE абонентів мобільної радіомережі вирішується не лише оптимальним розподілом ресурсних елементів, а й адаптивною зміною обсягів ресурсних елементів у просторі частота – код.

## Література

1. Mishra, A. *Security and quality of service in Ad Hoc Wireless Networks [Text]* / A. Mishra. - Cambridge University Press. - 2008. - 196 p.
2. *Guide to Wireless Ad Hoc Networks [Text]* / edited by S. Misra, I. Woungang, S.C. Misra. - Springer. - 2009. - 580 p.
3. *Wireless quality of service : techniques, standards, and applications [Text]* / edited by M. Maode, M. K. Denko., Y. Zhang. - Auerbach Publications, 2009. - 372 p.
4. Ganz, A. *Multimedia Wireless Networks: Technologies, Standards, and QoS [Text]* / A. Ganz, Z. Ganz, K. Wongthavarawat. - Prentice Hall PTR, 2003. - 352 p.
5. *Adaptation and cross layer design in wireless networks [Text]* / edited by M. Ibnkahla. - CRC Press. - 2009. - 526 p.

6. Романюк, В.А. *Архітектура системи оперативного управління тактичними радіомережами [Текст]* / Романюк В.А. // Збірник наукових праць ВІПІ НТУУ «КПІ». - 2009. - №3. - С. 70 – 76.

7. Kelly, F. *Charging and rate control for elastic traffic [Text]* / F. Kelly // *European Transactions on Telecommunications*. - 1997. - №8 – P. 33–37.

8. Xue, Y. *Optimal Resource Allocation in Wireless Ad Hoc Networks: A Price-based Approach [Text]* / Y. Xue, B. Li, K. Nahrstedt // *IEEE Transactions on Mobile Computing*. - 2006. - Vol. 5. - Is. 4. - P. 764 – 777

9. Bose, P. *Network utility maximization-based Mobile Ad hoc Networking: A reality check [Text]* / P. Bose, A. Zimdars, A. Carrier, J. Pandya. M. Quilling, V. Slavin, T. ElBatt. // *Military Communications Conference, 2008*. - 7 p.

10. Shi, Y. *Cross-Layer Optimization for Data Rate Utility Problem in UWB-Based Ad Hoc Networks [Text]* / Y. Shi, Y. T. Hou, H. D. Sherali // *IEEE Transactions on Mobile Computing*. - 2008. - Vol. 7. - No. 6. - P. 347 – 364

11. Jurca, D. *Joint Network and Rate Allocation for Simultaneous Wireless Applications [Text]* / D. Jurca, W. Kellerer, E. Steinbach, S. Khan, S. Thakolsri, P. Frossard // *2007 IEEE International Conference on Multimedia & Expo (ICME 2007), 2007*. - P. 931 - 934.

12. Батлер, Ю.В. *О качестве услуг в IP – сетях [Текст]* / Ю.В. Батлер, В.Ф. Михайлов // *Зв'язок*. - 2006. - №6. - С. 2 – 6.

13. Стрюк, О.Ю. *Метод максимізації сприйняття якості обслуговування абонентів мобільної радіомережі [Текст]* / О.Ю. Стрюк, О.О. Лаврут // *Радіоелектронні і комп'ютерні системи*. - 2012. - № 7(59) – С. 180 – 186.

14. *Resource management in wireless networking [Text]* / edited by M. Cardei, I. Cardei, D-Z. Du - Springer, 2005. - 716 p.

15. Hekmat, R. *Ad-Hoc networks: fundamental properties and network topologies [Text]* / R. Hekmat. - Springer, 2006. - 154 p.

16. Вишневикий, В.М. *Энциклопедия WiMAX. Путь к 4G [Text]* / В.М. Вишневикий, С.Л. Портной, И.В. Шахнович. - М.: Техносфера, 2009. - 472 с.

17. *Multimedia Transcoding in Mobile and Wireless Networks [Text]* / edited by M. Ashraf, A. Ibrahim - IGI Global, 2009. - 439 p.

18. Стрюк, О.Ю. *Метод розподілу пропускної спроможності базової станції радіомережі для забезпечення справедливого рівня інтегральної якості обслуговування абонентів [Текст]* / О.Ю. Стрюк, О.О. Лаврут // *Системи управління навігації та зв'язку*. - 2009. - № 4(12). - С. 179 – 185.

19. Chiang, M. *Stochastic network utility maximization [Text]* / M. Chiang // *European Transactions on Telecommunications*. - 2008. - 00:1–22.

20. Стрюк, О.Ю. *Імітаційна модель для визначення сприйняття якості обслуговування абонентів IP-телефонії [Текст]* / О.Ю. Стрюк, Я.В. Янсонс // *Математичні машини і системи*. - 2011. - №1. - С. 127 – 134.

Надійшла до редакції 4.03.2013, розглянута на редколегії 26.03.2013

**Рецензент:** д-р техн. наук, проф., зав. каф. проектування радіоелектронних систем В.М. Ілюшко, Національний державний аерокосмічний університет ім. М.Є. Жуковського «ХАІ», Харків, Україна.

## МЕТОД ОБЕСПЕЧЕНИЯ СПРАВЕДЛИВОГО УРОВНЯ ВОСПРИЯТИЯ КАЧЕСТВА ОБСЛУЖИВАНИЯ АБОНЕНТОВ МОБИЛЬНОЙ РАДИОСЕТИ

*А.Ю. Стрюк, О.О. Лаврут*

Проведен анализ восприятия качества обслуживания (QoE), как целевой функции задач сетевого управления. Доказана возможность и перспективность использования значения восприятия качества обслуживания в качестве показателя в задачах сетевого управления. Сформулирована задача обеспечения справедливого уровня QoE абонентов мобильной радиосети. Определена задача обеспечения справедливого уровня QOE абонентов мобильной радиосети и предложены новый метод и алгоритм ее решения. Предложенный метод отличается от известных использованием в качестве целевой функции оптимизации – QOE, зависимой от пропускной способности, уровня помехостойкости и способа реализации информационной услуги. Результаты, которые позволяет достичь предложенный метод, превышают результаты стандартных и известных перспективных методов распределения ресурсов радиосетей. Показано, что повышение универсальности предложенного метода может быть достигнуто: повышением точности существующих методов объективного оценивания восприятия качества обслуживания пользователей и совершенствованием моделей, которые используются для его экспериментального определения; расширением перечня видов информационных услуг, для которых разработаны методы объективного оценивания восприятия качества обслуживания пользователей; разработкой новых методов транскодирования данных и адаптивного представления информации в информационно телекоммуникационных сетях.

**Ключевые слова:** мобильные радиосети, управление ресурсами радиосетей, восприятие качества обслуживания (QoE), справедливый уровень QoE.

## METHOD OF QUALITY OF EXPERIENCE FAIRNESS PROVIDING FOR AD HOC WIRELESS NETWORKS SUBSCRIBERS

*O.Y. Striuk, O.O. Lavrut*

It's presented the analyses of quality of experience (QoE) as the objective function of network management. The analysis of perception of quality of service (QOE) is conducted, as to the objective function of tasks of network management. The objective function for QoE fairness in Ad Hoc Wireless Networks is defined. It's presented an algorithm of the centralized bundwise allocation in the Ad Hoc Wireless Networks. Possibility and perspective of the use of value of perception of quality of service is well-proven as an index in the tasks of network management. The task of providing of just level of QOE of subscribers of mobile radio network is formulated. The task of providing of just level of QOE of subscribers of mobile radio network is certain and a new method and algorithm of its decision is offered. The offered method differs from known the use as an objective function of optimization – QOE, dependency upon a carrying capacity, level of interference immunity and method of realization of informative favour. Results which the offered method allows to attain are beater the results of standard and known perspective methods of allocation of resources of radio networks. It is proved that the increase of universality of the offered method can be attained: by the increase of exactness of existent methods of objective evaluation of perception of quality of maintenance of users and perfection of models which are utilized for his experimental determination; by expansion of list of types of informative services which the methods of objective evaluation of perception of quality of maintenance of users are developed for; by development of new methods of transcoding of information and adaptive presentation of information in informatively telecommunication networks.

**Key words:** Ad Hoc Wireless Networks, network resource management, quality of experience (QoE), QoE fairness.

**Стрюк Олександр Юрійович** – кандидат технічних наук, доцент, начальник науково-дослідного відділу, науковий центр зв'язку та інформатизації Військового інституту телекомунікацій та інформатизації НТУУ «КПІ», Київ, strjuk@rambler.ru.

**Лаврут Олександр Олександрович** – кандидат технічних наук, доцент, провідний науковий співробітник науково-дослідного відділу, науковий центр сухопутних військ Академії сухопутних військ ім. гетьмана Павла Сагайдачного, Львів,