

УДК 621.396

О.Ю. СТРЮК

*Військовий інститут телекомунікацій та інформатизації
Національного технічного університету України «КПІ», Полтава, Україна*

МЕТОД РОЗПОДІЛУ ПРОПУСКНОЇ СПРОМОЖНОСТІ БАЗОВОЇ СТАНЦІЇ РАДІОМЕРЕЖІ ДЛЯ МАКСИМІЗАЦІЇ ІНТЕГРАЛЬНОГО ТА ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ВНУТРІШНЬОГРУПОВОГО СПРАВЕДЛИВОГО РІВНЯ СПРИЙНЯТТЯ ЯКОСТІ ОБСЛУГОВУВАННЯ

Проведений аналіз функції корисності як цільової функції задачі мережного керування. Визначена задача максимізації інтегрального та забезпечення внутрішньогрупового справедливого рівня сприйняття якості обслуговування (PQoS). Пропонується алгоритм вирішення сформульованої задачі у зоні обслуговування базової станції радіомережі.

Ключові слова: радіомережі, керування ресурсами радіомереж, сприйняття якості обслуговування (PQoS), забезпечення справедливого рівня PQoS, максимізація інтегрального рівня PQoS.

Вступ

Однією із найбільш важливих вимог, що пред'являються до інформаційно – комунікаційних мереж, є забезпечення для кожного з користувачів мережі заданого рівня якості обслуговування (QoS, Quality of Service). У рекомендації ITU – T P.800 [1], QoS визначена як «сукупний ефект характеристик мережного сервісу, який визначає ступінь задоволеності споживача даного сервісу». Розпочате в останні роки комерційне надання мультимедійних послуг у радіомережах зумовлює підвищення попиту на дослідження і розробки у галузі забезпечення QoS для різних технологій безпроводового доступу.

Механізми і протоколи забезпечення QoS, які розроблені і застосовуються у провідних мережах, як правило, не можуть напряму використовуватись у радіо- або гібридних провідних – радіомережах з огляду на характеристики безпроводових засобів зв'язку [2, 3]:

– радіолінії мають обмежену смугу пропускання, високу інтерференцію між каналами, довшу затримку і більш високе значення варіації затримки доставки пакету в порівнянні із сучасними кабельними системами, що потребує застосування більш складних механізмів QoS;

– нестабільність радіолінії внаслідок інтерференції і мобільності користувачів вимагають використання адаптивних засобів QoS;

– диверсність і комплексність технологій безпроводового радіодоступу потребують впровадження різних механізмів QoS у різних сегментах мережі й ускладнюють функціональну сумісність

між цими механізмами. Для більшості сучасних технологій радіомереж розроблені і стандартизовані спеціальні механізми забезпечення QoS [4].

1. Аналіз функції корисності як цільової функції задач мережного керування

Протягом останніх десяти років був розроблений широкий спектр прикладних задач мережного керування, в яких у якості цільової функції оптимізації використовується функція корисності.

Функція корисності (utility function) – емпірично задана на етапі проектування мережі функція, що визначає ступінь досягнення QoS для кожного з інформаційних потоків залежно від виділених для даного потоку ресурсів мережі [5, 6]. Складний характер взаємних зв'язків між параметрами мережі, неоднозначність їх впливу на якість обслуговування, визначає нетривіальність визначення значень функції корисності як функції декількох змінних. Тому в багатьох моделях керування розподілом ресурсів мережі функція корисності задається як функція, що залежна від однієї змінної, як правило, від пропускної спроможності [7] (табл. 1), затримки [8], або потужності передавача [9].

Для подолання однокритеріальності, у ряді робіт [10, 11] функція корисності вводиться як лінійна комбінація двох і більше критеріїв. Скаляризація багатокритеріальної задачі подібним чином зменшує ступінь довіри до отриманих результатів з огляду на поєднання у цільовій функції показників різної фізичної природи [12].

Таблиця 1
Математичне завдання функції корисності

Клас інформаційної служби	Математичний вираз функції корисності
служби передавання аудіо-візуальних даних	$U_i(R_i) = 1 - e^{-\frac{k_1 R_i^2}{k_2 + R_i}}$ де R_i – смуга пропускання виділена для інформаційного потоку i ; k_1, k_2 – параметри визначені емпірично
служби передавання даних і повідомлень	$U_i(R_i) = 1 - e^{-\frac{kR_i}{R_{i\max}}}$ де $R_{i\max}$ – максимальне значення смуги пропускання для інформаційного потоку i ; k – параметр визначений емпірично.
служби керування і контролю	$U_i(R_i) = \begin{cases} 1, & \forall R_i \geq R_{i\max} \\ 0, & \forall R_i < R_{i\max} \end{cases}$

Першою задачею мережного керування, що ґрунтується на використанні функції корисності, вважається задача максимізації корисності мережі (network utility maximization), яка сформульована у роботі F.Kelly [5].

Узагальнене математичне формулювання задачі максимізації корисності мережі може бути представлено наступним виразом

$$\{x_i\}^* = \arg \max_{\{x_i\} \in \Omega} \left(\sum_{i=1}^k U_i(\{x_i\}) \right) \quad (1)$$

за умови

$$\sum_{l=1}^k \{x_l\} \leq C,$$

де $\{x_i\}$ – множина значень ресурсів мережі, виділених інформаційному потоку i ,

$U_i(\{x_i\})$ – значення функції корисності для інформаційного потоку i , при виділенні йому $\{x_i\}$ ресурсів мережі,

Ω – множина можливих варіантів розподілу ресурсів між інформаційними потоками у мережі,

k – кількість інформаційних потоків у мережі,

C – загальний обсяг ресурсів у мережі.

В подальшому були сформульовані задачі забезпечення пропорційно справедливого [13, 14] та максимінно справедливого [15, 16] рівня корисності для інформаційних потоків у мережі. У роботі [17] запропонований метод адаптації пропускної спроможності базової станції радіомережі для забезпечення справедливого (рівного) значення функції

корисності для інформаційних потоків які належать до одного класу трафіку і максимізації повної (сумарної) корисності мережі. Математичне формулювання наведеної у [17] задачі

$$\{r_{i,j}\}^* = \arg \max_{\{r_{i,j}\} \in \Omega} \left(\sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^{N_i} U_{i,j}(r_{i,j}) \right) \quad (1)$$

за умови

$$U_{i,1}(r_{i,1}) = U_{i,2}(r_{i,2}) = \dots = U_{i,N_i}(r_{i,N_i}), 1 \leq \forall i \leq m,$$

$$\sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^{N_i} r_{i,j} \leq R,$$

де $\{r_{i,j}\}$ – множина значень пропускної спроможності базової станції виділених інформаційним потокам у мережі,

R – пропускна спроможність базової станції,

Ω – множина можливих значень вектору розподілу пропускної спроможності між k – інформаційними потоками, при дискретності зміни пропускної спроможності ΔR ,

m – кількість груп інформаційних потоків з різними вимогами до QoS,

N_i – кількість інформаційних потоків у кожній із груп.

Пошук $\{r_{i,j}\}^*$ в [17] здійснюється, виходячи із наступних припущень, які можуть підлягати критиці:

- допускається можливість плавної зміни долі пропускної спроможності, яка виділяється кожному з інформаційних потоків, що не відповідає реаліям сучасних технологій побудови радіомереж;

- вважається, що всі інформаційні потоки однієї групи мають однакову функцію корисності (належать до одного класу інформаційних служб), що не дозволяє формувати групи зі справедливим рівнем обслуговування за належністю до пріоритетного класу обслуговування незалежно від класу інформаційної служби;

- вважається, що при рівній смузі пропускання значення функції корисності для інформаційних потоків однієї групи – рівні, із розгляду виключені інші показники якості обслуговування у мережі (імовірність втрати пакету, затримка доставки, джитер).

2. Обґрунтування вибору сприйняття якості обслуговування, як інтегрального показника якості обслуговування

Істотним системним недоліком вирішення задач підвищення якості обслуговування лише на основі аналізу мережних параметрів є виключення із аналізу стратегій розподілу ресурсів можливостей програмного забезпечення прикладного рівня.

Сучасні методи кодування і декодування інформації дозволяють, наприклад, змінювати вимоги до пропускної спроможності за рахунок кодування зі змінною швидкістю, зменшувати вимоги до імовірності бітової помилки в каналах зв'язку за рахунок завадостійкого стиску і диференційованого захисту пакетів з мультимедійною інформацією, компенсувати вплив втрати пакетів і джиттеру за рахунок адаптивного відтворення [18].

У якості інтегрального показника при оцінюванні оптимальності розподілу ресурсів 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 [19, 20].

Сприйняття якості обслуговування (PQoS – perceived quality of service) – це оцінка якості інформаційного сервісу з точки зору сприйняття користувачем як споживачем послуг даного сервісу.

Рекомендація ITU-T P.830 [21] 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 PQoS для:

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

Наявність об'єктивних методів оцінювання PQoS дозволяє автоматизувати процедуру визначення PQoS як величини, залежної від широкого спектру показників мережі.

Для кожної з функціонуючих у мережі інформаційних служб можуть бути визначені значення багатовимірного масиву значень PQoS – $\{q_i\}$, залежні від виділених ресурсів, параметрів мережі, з урахуванням функціональності прикладного програмного забезпечення (кінцевого абонентського обладнання), яке реалізовує дану послугу

$$\{q_i\} = F(\{R_i\}, \{p\}, \{E_i\}), \quad (2)$$

де q_i – значення PQoS за шкалою MOS для інформаційної служби i , $i \in 1, \dots, m$,

m – кількість інформаційних служб, які функціонують у мережі,

$\{R_i\}$ – множина значень ресурсів мережі, що виділені інформаційній службі i ,

$\{q\}$ – множина показників, які характеризують мережу,

$\{E_i\}$ – множина факторів, що відображають вплив на PQoS особливостей реалізації прикладного програмного забезпечення, i (або) кінцевого абонентського обладнання.

На рис. 1 наведені залежності PQoS від:

- ресурсів мережі - смуги пропускання;
- показників мережі - імовірність втрати пакету (PLP), затримка доставки пакетів;
- особливостей реалізації прикладного програмного забезпечення – тип і швидкість інформаційного потоку, метод кодування.

У роботах дослідницьких колективів: W. Kellerer, S. Thakolsri, S. Khan, E. Steinbach та ін. [22] та N. Bayer, M. Siebert, R. Pries, D. Staehle, V. Rakocvic та ін. [24] наведені приклади вирішення задачі максимізації повного значення PQoS у радіомережах з різною структурою (постановка оптимізаційної задачі аналогічна (1)).

3. Постановка задачі максимізації інтегрального та забезпечення внутрішньогрупового справедливого рівня PQoS абонентів базової станції радіомережі

Структура радіомережі на основі опорної мережі базових станцій широко використовується в існуючих і перспективних технологіях побудови радіомереж [25]. Зв'язок між базовими станціями забезпечується із використанням надійних і високопродуктивних мережних технологій, здатних гарантувати необхідний рівень QoS. Основними причинами зменшення рівня QoS у радіомережах на основі базових станцій є обмеженість радіоресурсу, нестабільність радіоліній і мобільність абонентів у зоні обслуговування базових станцій.

Найбільш вагомим ресурсом радіомережі в сегменті «базова станція – мобільні абоненти» є пропускна спроможність радіоканалу між базовою станцією і мобільними абонентами [26], тому оптимізаційна задача, рішення якої пропонується, зосереджена на максимізації інтегрального та забезпеченні внутрішньогрупового справедливого рівня PQoS у сегменті «базова станція – мобільні абоненти» за рахунок керування розподілом пропускної спроможності, кодування аудіовізуальних даних зі змінною швидкістю і з урахуванням рівня завадостійкості каналів між абонентами і базовою станцією. Вирішення запропонованої задачі забезпечує підвищення ефективності використання радіоресурсів у зоні обслуговування базової станції при збереженні

гарантії рівного значення PQoS для інформаційних потоків, об'єднаних у групи за ознакою вимог до QoS.

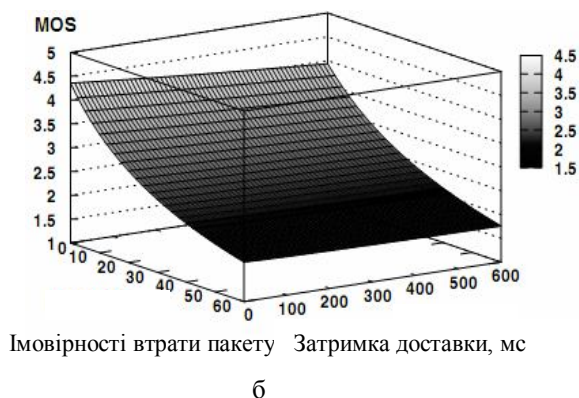


Рис. 1. Залежність PQoS від:
 а – імовірності втрати пакету для різних кодеків мови [22];
 б – імовірності втрати пакету і затримки доставки пакетів для кодексу мови SPEEX (24,6 кбіт/с) [23]

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

- наявність механізмів класифікації і відокремленої обробки інформаційних потоків, керування чергами, планування передавання;

- детермінований доступ до радіоканалу з можливістю виділення кожному інформаційному потоку певного значення пропускної спроможності з дискретністю ΔR ;

- наявність зворотного службового зв'язку між базовою станцією і мобільними абонентами 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 базовою станцією, так і абонентськими пристроями.

Аналіз наведених припущень показує, що всі зазначені механізми, крім транскодування, реалізо-

вані в сучасних технологіях побудови радіомереж [27, 28]. 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 базових станціях, так і в абонентському обладнанні [29].

Вихідні дані. При вирішенні оптимізаційної задачі використовуються наступні вихідні дані: R – максимальне значення пропускної спроможності між базовою станцією і мобільними абонентами, біт/с; ΔR – шаг зміни смуги пропускання, яка може виділятися базовою станцією для інформаційних потоків, біт/с; k – кількість інформаційних потоків, які конкурують за доступ; m – кількість груп інформаційних потоків; N_i – кількість інформаційних потоків у кожній із груп $i \in 1, \dots, m$; способи кодування інформації в інформаційних потоках; P_i – середня імовірність втрати пакету для кожного інформаційного потоку, $i \in 1, \dots, k$; масив значень PQoS по шкалі MOS в залежності від виділеної смуги пропускання й імовірності втрати пакету для кожного з інформаційних потоків та обраного способу кодування (характеристик прикладної реалізації послуги)

$$\{q_i(r_i, P_i, E_i)\} = \{q_i(\Delta R, P_i, E_i), q_i(2\Delta R, P_i, E_i), \dots, q_i(B_i \Delta R, P_i, E_i)\}, \quad (3)$$

де $B_i = \lfloor R_i^{\max} / \Delta R \rfloor$, R_i^{\max} – максимально необхідна смуга пропускання для інформаційного потоку i , біт/с.

Необхідно – знайти такий розподіл пропускної спроможності базової станції між інформаційними потоками у зоні обслуговування базової станції, при якому виконується

$$\{r_{i,j}\}^* = \arg \max_{\{r_{i,j}\} \in \Omega} \left(\sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^{N_i} q_{i,j}(r_{i,j}, P_{i,j}, E_{i,j}) \right) \quad (4)$$

за умови

$$q_{i,1}(r_{i,1}, P_{i,1}, E_{i,1}) = q_{i,2}(r_{i,2}, P_{i,2}, E_{i,2}) = \dots = q_{i,N_i}(r_{i,N_i}, P_{i,N_i}, E_{i,N_i}), \quad 1 \leq \forall i \leq m, \quad (5)$$

$$\sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^{N_i} r_{i,j} \leq R,$$

де $\{r_{i,j}\}^*$ – вектор розподілу пропускної спроможності між інформаційними потоками, який забезпечує вирішення задачі (3),

Ω – множина можливих значень вектору розподілу пропускної спроможності між k – інформаційними потоками, при дискретності зміни пропускної спроможності ΔR ,

m – кількість груп інформаційних потоків з рівними вимогами до QoS,

N_i – кількість інформаційних потоків у кожній із груп.

Множина можливих значень вектору розподілу пропускної спроможності відповідає стандартному набору швидкостей передавання i в силу цього є дискретною, компоненти рішення повинні відповідати цій дискретній множині. Оскільки кожному з фіксованих дискретних значень $r_{i,j}$, може відповідати неперервне значення PQoS, обмежене лише діапазоном від 1 до 5, отримати точне аналітичне рішення задачі (3) є неможливим.

Для вирішення підзадачі забезпечення справедливого рівня PQoS у межах групи (4) пропонується визначити для кожного інформаційного потоку групи дискретну множину значень пропускної спроможності $\{r'_{i,j}(q'_{i,j}, P_{i,j}, E_{i,j})\}$, при яких гарантується досягнення певного дискретного рівня PQoS – $q'_{i,j}$.

$$\begin{aligned} r'_{i,j}(q'_{i,j}, P_{i,j}, E_{i,j}) &= n\Delta R, \\ \text{якщо } q_{i,j}((n-1)\Delta R, P_{i,j}, E_{i,j}) &< q'_{i,j} \leq q_{i,j}(n\Delta R, P_{i,j}, E_{i,j}), \end{aligned} \quad (6)$$

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

Визначення. Розподіл пропускної спроможності між інформаційними потоками у межах групи із рівними вимогами до QoS – $\{r'_{i,j}\}^*$ вважається PQoS – справедливим, якщо виконується

$$q'_{i,1} = q'_{i,2} = \dots = q'_{i,N_i} = q'_i, \quad (7)$$

за умови

$$\begin{aligned} \sum_{i=1}^{N_i} r'_{i,j} &= R_i \leq R, \\ q'_i &\leq q_{i,j}^{\max}, 1 \leq \forall j \leq N_i, \end{aligned}$$

де q'_i – справедливе дискретне значення PQoS для інформаційних потоків групи i ;

$q_{i,j}^{\max}$ – максимально можливе значення PQoS для інформаційного потоку j , який належить до групи i ;

R_i – значення пропускної спроможності, яке забезпечує для інформаційних потоків групи i , досягнення рівня PQoS – q'_i .

Якщо відома множина значень $\{R_i\}$, при яких досягається кожне з можливих значень PQoS, дискретизованих із кроком Δq , задача (3), може бути трансформована до такого вигляду

$$\{R_i\}^* = \arg \max_{\{R_i\} \in \Psi} \left(\sum_{i=1}^m q'_i(R_i) \right), \quad (8)$$

за умови

$$\sum_{i=1}^m R_i \leq R,$$

де $\{R_i\}^*$ – вектор розподілу пропускної спроможності між групами інформаційних потоків, який забезпечує вирішення задачі (6),

Ψ – множина можливих значень вектору розподілу пропускної спроможності між m – групами інформаційних потоків.

Оптимізаційна задача (6) – представляє собою задачу комбінаторної оптимізації – «укладка рюкзачку», методологія вирішення якої достатньо повно описана у літературі, наприклад [30, 31].

Рішення оптимізаційної задачі (6) може бути отримано із використанням динамічного програмування. Вибір даного методу рішення обумовлений:

– адитивним характером цільової функції оптимізації;

– залежністю рішення про виділення частки пропускної спроможності, яке приймається в кожному із циклів динамічного програмування, лише від величини нерозподіленої (вільної) пропускної спроможності;

– зменшенням загальної обчислювальної складності вирішення задачі (6) за рахунок прогнозовано невисокої кількості груп інформаційних потоків з рівними вимогами до QoS як при формуванні груп за ознакою належності до певного класу інформаційних служб, так і при формуванні груп для забезпечення диференціювання QoS.

4. Алгоритм розподілу пропускної спроможності базової станції радіомережі

Алгоритм вирішення сформульованої задачі складається з двох основних етапів. На першому етапі для кожної групи інформаційних потоків обчислюється множина значень $\{R_i\}$ та відповідних їм дискретних значень справедливого рівня PQoS – $\{q'_i\}$ задача (5). На другому етапі знаходиться вирішення задачі (6).

Алгоритм, який реалізує перший з вказаних етапів, представляє собою просту ітеративну процедуру, детально наведену у [32]. Для вирішення задачі (6) адаптовано алгоритм динамічного програмування, наведений у [31].

Алгоритм вирішення задачі (6) із використанням динамічного програмування наведений у табл. 3, (у табл. 2 представлені значення змінних, які використовуються у алгоритмі).

Таблиця 2

Значення змінних, які використовуються у алгоритмі

R	– пропускна спроможність між базовою станцією і мобільними абонентами.
m	– кількість груп інформаційних потоків, конкуруючих за доступ до пропускної спроможності.
ΔR	– шаг зміни смуги пропускання, яка може виділятися базовою станцією для інформаційних потоків.
$\{q_i(R_i)\}$	– масив значення PQoS по шкалі MOS для групи інформаційних потоків i.
$q_m^{\max}(R)$	– максимальне інтегральне значення PQoS при виділенні m – груп інформаційних потоків пропускної спроможності – R.
$R_m^*(R)$	– масив розподілу пропускної спроможності між m групами інформаційних потоків.

Таблиця 3

Алгоритм максимізації PQoS

<p>1. Ввести вихідні дані: Скаляри R, m, ΔR масив $\{q'_i(R_i)\}$.</p>
<p>2. Визначити розподіл пропускної спроможності для першої групи інформаційних потоків: Для всіх i від 0 до $(\lfloor R/\Delta R \rfloor)$ виконати: $q_1^{\max}(i\Delta R) := q'_1(i\Delta R), R_1^* := (i\Delta R)$.</p>
<p>3. Визначити розподіл пропускної спроможності для 2 – (m - 1) групи інформаційних потоків: Для всіх k від 2 до (m - 1) виконати: Для всіх j від 0 до $(\lfloor R/\Delta R \rfloor)$ виконати: $R_k := j\Delta R, q_k^{\max}(R_k) := 0,$ Для всіх i від 0 до j виконати: $q_k(R_k) := q'_k(i\Delta R) + q_{k-1}^{\max}(R_k - i\Delta R),$ Якщо $q_k(R_k) \geq q_k^{\max}(R_k)$ виконати: $q_k^{\max}(R_k) := q_k(R_k),$ $R_k^*(R_k) := \left(\left\{ R_{k-1}^*(R_k - i\Delta R) \right\}, i\Delta R \right).$</p>
<p>4. Визначити розподіл пропускної спроможності для останньої групи інформаційних потоків: $q_m^{\max}(R) := 0,$ Для всіх i від 0 до $(\lfloor R/\Delta R \rfloor)$ виконати: $q_m(R) := q'_m(i\Delta R) + q_{m-1}^{\max}(R - i\Delta R),$ Якщо $q_m(R) \geq q_m^{\max}(R)$ виконати: $q_m^{\max}(R) := q_m(R),$ $R_m^*(R) := \left(\left\{ R_{m-1}^*(R - i\Delta R) \right\}, i\Delta R \right).$</p> <p>Закінчити роботу алгоритму видати $R_m^*(R)$.</p>

Умовою стохастичної стійкості алгоритмів керування розподілом ресурсів мережі [6], є виконання співвідношення:

$$T_T \approx T_C < T_S, \quad (5)$$

де T_T – середній час, необхідний для здійснення розподілу ресурсів,

T_C – інтервал кореляції зміни параметрів мережі під впливом повільних згасань,

T_S – середня тривалість сеансів зв'язку.

Для радіомереж УКХ діапазону інтервал кореляції зміни параметрів мережі під впливом повільних згасань дорівнює одиницям – десяткам секунд [27, 28].

Середня тривалість сеансів зв'язку дорівнює одиницям хвилин [17].

При моделюванні запропонованого алгоритму у системі комп'ютерної математики Matlab при 50 інформаційних потоках і 512 можливих значеннях пропускної спроможності середній час виконання розподілу пропускної спроможності в середньому складає 0,7 с.

Таким чином, запропонований алгоритм є стохастично стійким.

5. Приклад вирішення задачі максимізації інтегрального та забезпечення внутрішньогрупового справедливого рівня PQoS абонентів базової станції радіомережі

Розглянемо приклад вирішення задач (5), (6) із використанням наведеного алгоритму. Прийемо наступні значення вихідних даних:

R – максимальне значення пропускної спроможності між базовою станцією і мобільними абонентами – 36 кбіт/с;

ΔR – крок зміни смуги пропускання, яка може виділятися базовою станцією для інформаційних потоків – 4 кбіт/с;

Δq – крок зміни дискретних значень PQoS – 0,2;

m – кількість груп інформаційних потоків – 3;

кількість потоків у кожній групі – 2;

типи і способи кодування інформації в інформаційних потоках, середня імовірність втрати пакету для кожного інформаційного потоку:

– група 1:

– інформаційний потік 1 – передавання мови із використанням кодеру SPEEX [33], PLP = 0,1;

– інформаційний потік 2 передавання даних із використанням протоколу FTP, PLP = 0,15.

- група 2:
 - інформаційний потік 1 – передавання мови із використанням кодеру SPEEX, PLP = 0,1;
 - інформаційні потік 2 передавання даних із використанням протоколу FTP, PLP = 0,05.
 - група 3:
 - інформаційний потік 1 – передавання мови із використанням кодеру SPEEX, PLP = 0;
 - інформаційні потоки 2 передавання даних із використанням протоколу FTP, PLP = 0.
- Значення PQoS по шкалі MOS, у залежності від виділеної смуги пропускання й імовірності втрати пакету для кожного з інформаційних потоків

(отримані із використанням методики, наведеної у [34], представлені у табл. 4.

Результати вирішення задачі (5) із використанням алгоритму, запропонованого у [32] наведені у табл. 5. Проміжні і кінцеві результати вирішення задачі (6) із використанням запропонованого алгоритму, наведені у табл. 6.

Результат роботи алгоритму:

- дискретне справедливе значення PQoS для 1 групи інформаційних потоків – 1,8;
- дискретне справедливе значення PQoS для 2 групи інформаційних потоків – 2,6;
- дискретне справедливе значення PQoS для 3 групи інформаційних потоків – 2,8;

Таблиця 4

Значення PQoS

Смуга пропускання, кбіт\с		0	4	8	12	16	20	24	28	32	36
Мова, кодер SPEEX, PLP = 0,1	Швидкість потоку, кбіт\с	0	3,95	8	11	15	18	18	24,6		
	Значення PQoS	0	2,25	2,72	2,94	3,15	3,23	3,23	3,31		
Мова, кодер SPEEX, PLP = 0	Швидкість потоку, кбіт\с	0	3,95	8	11	15	18	18	24,6		
	Значення PQoS	0	2,9	3,7	4	4,2	4,3	4,3	4,4		
Передавання даних, PLP = 0,15	Швидкість потоку, кбіт\с	0	4	8	12	16	20	24	28	32	36
	Значення PQoS	0	1	1,9	2,56	3,04	3,42	3,73	3,99	4,21	4,4
Передавання даних, PLP = 0,05	Швидкість потоку, кбіт\с	0	4	8	12	16	20	24	28	32	36
	Значення PQoS	0	1	2,07	2,75	3,23	3,6	3,91	4,16	4,3	4,6
Передавання даних, PLP = 0	Швидкість потоку, кбіт\с	0	4	8	12	16	20	24	28	32	36
	Значення PQoS	0	1	2,1	2,83	3,32	3,7	3,99	4,25	4,47	4,7

Таблиця 5

Результати роботи алгоритму забезпечення внутрішньогрупового справедливого рівня PQoS

R_i	$r'_{1,1}$	$r'_{1,2}$	q'_1	$r'_{2,1}$	$r'_{2,2}$	q'_2	$r'_{2,1}$	$r'_{2,2}$	q'_3
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
4	4	0	0	4	0	0	4	0	0
8	4	4	1	4	4	1	4	4	1
12	4	8	1,8	4	8	2	4	8	2
16	4	12	2,2	4	12	2,2	4	12	2,8
20	8	12	2,4	8	12	2,6	8	12	2,8
24	8	16	2,6	12	12	2,6	8	16	3,2
28	12	16	2,8	12	16	2,8	8	20	3,6
32	16	16	3	16	16	3	12	20	3,6
36	20	16	3	20	16	3,2	12	24	3,8
40	20	20	3,2	20	20	3,2	12	28	4
44	24	20	3,2	24	20	3,2	16	28	4,2
48	28	20	3,4	28	20	3,4	20	28	4,2

Таблиця 6

Результати роботи алгоритму максимізації інтегрального PQoS

q_1^{\max}	R_1^*	q_2^{\max}	R_2^*	$q_3(48)$	$R_3^*(48)$
0	0	0	(0, 0)	5,4	(28, 20, 0)
0	4	0	(0, 4)	5,2	(24, 20, 4)
1	8	1	(0, 8)	6	(20, 20, 8)
1,8	12	2	(0, 12)	6,8	(16, 20, 12)
2,2	16	2,2	(0, 16)	7,2	(12, 20, 16)
2,4	20	3	(8, 12)	5,6	(16, 12, 20)
2,6	24	3,8	(12, 12)	5,8	(12, 12, 24)
2,8	28	4,2	(16, 12)	6	(8, 12, 28)
3	32	4,4	(12, 20)	5,8	(16, 0, 32)
3	36	4,8	(16, 20)	5,6	(0, 12, 36)
3,2	40	5	(20, 20)	5	(0, 8, 40)
3,2	44	5,2	(24, 20)	4,2	(0, 4, 44)
3,4	48	5,4	(28, 20)	4,2	(0, 0, 48)

- інформаційному потоку 1 групи 1 виділяється смуга пропускання 4 кбіт/с, значення PQoS по шкалі MOS = 2,25;
 - інформаційному потоку 2 групи 1 виділяється смуга пропускання 8 кбіт/с, значення PQoS по шкалі MOS = 1,9;
 - інформаційному потоку 1 групи 2 виділяється смуга пропускання 8 кбіт/с, значення PQoS по шкалі MOS = 2,72;
 - інформаційному потоку 2 групи 2 виділяється смуга пропускання 12 кбіт/с, значення PQoS по шкалі MOS = 2,75;
 - інформаційному потоку 1 групи 3 виділяється смуга пропускання 4 кбіт/с, значення PQoS по шкалі MOS = 2,25;
 - інформаційному потоку 2 групи 2 виділяється смуга пропускання 12 кбіт/с, значення PQoS по шкалі MOS = 2,83;
 - стандартне відхилення PQoS інформаційних потоків – 0,18.
- Для порівняння – при керуванні QoS на основі справедливого розподілу пропускнуої спроможності були б отримані наступні результати:
- інформаційному потоку 1 групи 1 виділяється смуга пропускання 8 кбіт/с, значення PQoS по шкалі MOS = 2,72;
 - інформаційному потоку 2 групи 1 виділяється смуга пропускання 8 кбіт/с, значення PQoS по шкалі MOS = 1,9;
 - інформаційному потоку 1 групи 2 виділяється смуга пропускання 8 кбіт/с, значення PQoS по шкалі MOS = 2,72;
 - інформаційному потоку 2 групи 2 виділяється смуга пропускання 8 кбіт/с, значення PQoS по шкалі MOS = 2,07;
 - інформаційному потоку 1 групи 3 виділяється смуга пропускання 8 кбіт/с, значення PQoS по шкалі MOS = 3,7;
 - інформаційному потоку 2 групи 2 виділяється смуга пропускання 8 кбіт/с, значення PQoS по шкалі MOS = 2,1;
 - - стандартне відхилення PQoS інформаційних потоків – 0,36.

Висновки

У статті доведена можливість і перспективність використання значення сприйняття якості обслуговування (PQoS) в якості показника в задачах мережного керування. Запропонований удосконалений метод розподілу пропускнуої спроможності базової станції радіомережі для максимізації інтегрального та забезпеченні внутрішньо-групового справедливого рівня PQoS абонентів. Запропонований метод відрізняється від відомих використанням у якості цільової функції оптимізації – PQoS, зале-

жної від пропускнуої спроможності та рівня завадостійкості.

Під час подальших досліджень передбачається розширення переліку ресурсів радіомережі, керування якими забезпечує вирішення задачі забезпечення справедливого рівня PQoS, а також реалізація запропонованого методу у радіомережах зі структурами Mesh і Ad Hoc.

Література

1. ITU-T P.800.1. Mean Opinion Score terminology – ITU, 2006. – 12 p.
2. Миночкин А.И. Управление качеством обслуживания в мобильных радиосетях / А.И. Миночкин, В.А. Романюк // Зв'язок. – 2005. – № 8. – С. 17 - 23.
3. Wireless quality of service: techniques, standards, and applications / edited by M. Maode, M. K. Denko, Y. Zhang. – Auerbach Publications, 2009. – 372 p.
4. Ganz A. Multimedia Wireless Networks: Technologies, Standards, and QoS / A. Ganz, Z. Ganz, K. Wongthavarawat – Prentice Hall PTR, 2003. – 352 p.
5. Kelly F. Charging and rate control for elastic traffic / F. Kelly // European Transactions on Telecommunications. – 1997. – 8:33-37.
6. Chiang M. Stochastic network utility maximization / M. Chiang // European Transactions on Telecommunications. – 2008. – 00:1-22.
7. Bigham J. Lu N. Utility-Based Bandwidth Adaptation for Multimedia Wireless Networks / Lu N., Bigham J., N. Nasser // Adaptation and cross layer design in wireless networks. – CRC Press, 2008. – P. 149 - 182.
8. Low S. A mathematical framework for designing a low-loss low-delay internet / S. Low, R. Srikant // Network and Spatial Economics, special issue on Crossovers between transportation planning and telecommunications. – 2003. – 4:75-101.
9. Broadband mobile multimedia: techniques and applications / edited by Y. Zhang. – Auerbach Publications, 2008. – 586 p.
10. Chiang M. Balancing transport and physical layers in wireless multihop networks: jointly optimal congestion control and power control / M. Chiang // IEEE Journal on Selected Areas in Communications. – 2005. – 23(1):104-116.
11. Liu X. Opportunistic transmission scheduling with resource-sharing constraints in wireless networks / X. Liu, E. Chong, N. Shroff // IEEE Journal on Selected Areas in Communications. – 2001. – 19 (10):2053-2064.
12. Дымарский Я.С. Управление сетями связи / Я.С. Дымарский, Н.П. Крутякова, Г.Г. Яновский – М.: ИТЦ «Мобильные коммуникации», 2003. – 384 с.
13. Harks T. Utility Proportional Fair Bandwidth Allocation: An Optimization Oriented Approach / T. Harks // QoS-IP 2005: quality of service in multiservice IP networks, 2005. – vol. 3375. – P. 61-74.
14. Kelly F. Rate control in communication networks: shadow prices, proportional fairness and stability / F. Kelly, M. Maulloo, D. Tan // Journal of the Operational Research Society. – 1998. – Vol. 49. – P. 237- 252.
15. Cho J. Utility Max-Min Flow Control Using

- Slope-Restricted Utility Functions* / J. Cho, S. Chong // *IEEE Transactions on Telecommunications*, 2007. – vol. 55. – №. 5. – P. 963-972.
16. Mohanty S. *Max-min Utility Fairness in Link Aggregated Systems* / S. Mohanty, L. Changbin, L. Bin, L. Bhuyan // *High Performance Switching and Routing Workshop*, 2007. – P. 1-7.
17. Lu N. *Utility-based Bandwidth Adaptation for QoS Provisioning in Multimedia Wireless Networks: PHD thesis* / N. Lu // *Queen Mary University of London*, 2007. – 137 p.
18. *Multimedia over IP and wireless networks: compression, networking, and systems* / edited by P.A. Chou, M. van der Schaar. – Elsevier, 2007. – 692 p.
19. Батлер Ю.В. О качестве услуг в IP - сетях / Ю.В. Батлер, В.Ф. Михайлов // *Зв'язок*. – 2006. – № 6. – С. 2-6.
20. *End-to-End Quality of Service over cellular networks* / edited by G. Gómez and R. Sánchez. – John Wiley & Sons, 2005. – 317 p.
21. ITU – T P. 830. *Subjective performance assessment of telephone-band and wideband digital codecs*. – ITU, 1996. – 26 p.
22. Jurca D. *Joint Network and Rate Allocation for Simultaneous Wireless Applications*. / 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.
23. Valera M. *Quality assessment of interactive voice applications* / M. Valera, A. da Silva, Silva E. de Souza e, R. Leao, G. Rubino // *Computer Networks*, 2008 – №6(52). – 1179-1192 p.
24. Hock D. *QoS provisioning in WLAN mesh networks using dynamic bandwidth control* / D. Hock, N. Bayer, R. Pries, V. Rakocevic // *Wireless Conference*, 2008. – P. 1-7.
25. Webb W. *Wireless communications: The future* / W. Webb-John Wiley & Sons, 2007. – 274 p.
26. *Resource management in wireless networking* / edited by M. Cardei, I. Cardei, D-Z. Du – Springer, 2005. – 716 p.
27. Вишневецкий В.М. *Энциклопедия WiMAX. Путь к 4G* / В.М. Вишневецкий, С.Л. Портной, И.В. Шахнович. – М.: Техносфера, 2009. – 472 с.
28. Lee W. *Wireless and cellular telecommunications* / W. Lee. – McGraw-Hill, 2006 – 823 p.
29. *Multimedia Transcoding in Mobile and Wireless Networks* / edited by M. Ashraf, A. Ibrahim. – IGI Global, 2009 – 439 p.
30. Kellerer H. *Knapsack problems* / H. Kellerer, U. Pferschy, D. Pisinger. – Springer, 2004. – 546 p.
31. Грешилов А.А. *Прикладные задачи математического программирования* / А.А. Грешилов. – М.: Логос, 2006. – 288 с.
32. Стрюк О.Ю. *Метод розподілу пропускної спроможності базової станції радіомережі для забезпечення справедливого рівня інтегральної якості обслуговування абонентів* / О.Ю. Стрюк, О.О. Лаврут // *Системи управління, навігації та зв'язку*. – Київ: ЦНДІ НУ. – 2009. – № 4 (12). – С. 179-185.
33. Speex: *A Free Codec For Free Speech*. [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <http://www.speex.org>.
34. Стрюк А.Ю. *Методика оценки оптимальности распределения ресурсов инфокоммуникационных сетей на основе показателя воспринимаемого качества обслуживания* / А.Ю. Стрюк, И.Н. Пономарёв, А.В. Соловьёва // *Радиоэлектронні і комп'ютерні системи*, Харків: ХАІ. – 2009. – № 6 (40). – С. 20-25.

Надійшла до редакції 23.02.2010

Рецензент: д.т.н., проф. завідувач кафедри комп'ютерних інформаційних технологій і систем О.Л. Ляхов, Полтавський національний технічний університет, Полтава, Україна.

МЕТОД РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ПРОПУСКНОЙ СПОСОБНОСТИ БАЗОВОЙ СТАНЦИИ РАДИОСЕТИ ДЛЯ МАКСИМИЗАЦИИ ИНТЕГРАЛЬНОГО И ОБЕСПЕЧЕНИЯ СПРАВЕДЛИВОГО УРОВНЯ ВОСПРИЯТИЯ КАЧЕСТВА ОБСЛУЖИВАНИЯ

А.Ю.Стрюк

Проведён анализ функции полезности, как целевой функции задачи сетевого управления. Сформулирована задача максимизации интегрального и обеспечения справедливого уровня воспринимаемого качества обслуживания (PQoS). Предложен алгоритм решения сформулированной задачи в зоне обслуживания базовой станции радиосети.

Ключевые слова: радиосети, управление ресурсами радиосетей, восприятие качества обслуживания (PQoS), обеспечение справедливого уровня PQoS, максимизация интегрального уровня PQoS.

INTRA-GROUP FAIR AND INTER-GROUP PERCEIVED QUALITY OF SERVICE MAXIMIZATION BANDWIDTH ALLOCATION IN THE RADIO NETWORK BASE STATION COVERAGE AREA

О.Ю. Стрюк

Presented the analyses of utility function as the objective function of network management. The objective function for intra-group fair and inter-group perceived quality of service (PQoS) maximization is defined. Presents an algorithm for bandwidth allocation in the radio network base station coverage area.

Key words: radio networks, resource management in wireless networking, perceived quality of service (PQoS), PQoS fairness, PQoS maximization.

Стрюк Олексій Юрійович – канд. техн. наук, доцент, докторант, Військовий інститут телекомунікацій та інформатизації НТУУ «КПІ», Полтава, Україна, strjuk@ Rambler.ru.