

Міністерство освіти та науки України
Українська державна академія залізничного транспорту

ВОРОПАЄВА АННА ОЛЕКСАНДРІВНА

УДК 621.391

**МЕТОДИ ОПТИМАЛЬНОГО УПРАВЛІННЯ БЕЗПРОВОДОВИМИ
ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЙНИМИ МЕРЕЖАМИ НОВОГО ПОКОЛІННЯ**

05.12.02 – телекомунікаційні системи та мережі

АВТОРЕФЕРАТ
дисертації на здобуття наукового ступеня
кандидата технічних наук

Харків-2014

Дисертацією є рукопис.

Робота виконана в ДВНЗ «Донецький національний технічний університет» Міністерства освіти і науки України.

Науковий керівник: кандидат технічних наук, професор
Турупалов Віктор Володимирович,
ДВНЗ «Донецький національний технічний університет», декан факультету комп'ютерних інформаційних технологій та автоматики.

Офіційні опоненти: доктор технічних наук, професор
Краснобаєв Віктор Анатолійович,
Полтавський національний технічний університет імені Юрія Кондратюка, завідувач кафедри комп'ютерної інженерії;

кандидат технічних наук, доцент
Сєверінов Олександр Васильович,
Харківський університет Повітряних Сил ім. І.Кожедуба, начальник інформаційно-обчислювального центру – старший науковий співробітник.

Захист відбудеться "___" _____ 2014 року о 14⁰⁰ годині на засіданні спеціалізованої вченої ради Д 64.820.01 при Українській державній академії залізничного транспорту за адресою: 61050, м. Харків, м. Фейєрбаха, 7.

З дисертацією можна ознайомитися в бібліотеці Української державної академії залізничного транспорту за адресою: 61050, м. Харків, м. Фейєрбаха, 7.

Автореферат розісланий "___" _____ 2014 року.

Учений секретар
спеціалізованої вченої ради



К.А.Трубчанінова

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність теми. В сучасних умовах стрімкого розвитку телекомунікацій через появу великої кількості мобільних гаджетів (ноутбуки, планшети, смартфони) все більших масштабів набувають безпроводові мережі. Зі зростанням долі трафіку від мультимедійних послуг (відео за запитом, відеовиклики, online ігри, звернення до соціальних мереж та користування відповідним контентом) актуальним стає питання підтримки гарантованої якості обслуговування таких сервісів. В даній роботі розглянуто методи оптимального управління безпроводовими мережами нового покоління (конвергентні мережі концепції LTE).

Якщо раніше технології безпроводового зв'язку розвивалися за двома практично незалежними один від одного шляхами - системи стільникового зв'язку з комутацією каналів (основну частку трафіку складала сервіси голосових викликів) та рухомі системи передачі даних з пакетною комутацією (Wi-Fi, WiMax), то останнім часом спостерігається явна тенденція до злиття цих напрямків. Обсяг пакетних даних у мережах мобільного зв'язку третього покоління (3G) вже перевищує обсяг голосового трафіку, що пов'язано з впровадженням технологій HSPA. При великій кількості операторів мобільного зв'язку та при практичній ідентичності сервісів, які вони надають своїм абонентам, суттєво зростає рівень конкуренції. Це спричинює необхідність переносити акценти при побудові стратегії діяльності мережі мобільного зв'язку з техніко-економічних показників на підтримання лояльності старих та залучення нових абонентів. В цих умовах все важливішим стає забезпечення високого рівня задоволеності користувачем послугою, яку він отримує від оператора безпроводового зв'язку.

В останній час проводяться активні дослідження, спрямовані на реалізацію можливості забезпечення гарантованих параметрів якості в безпроводових мережах нового покоління, зокрема LTE, в умовах жорсткої конкуренції на ринку зв'язку. Такими актуальними проблемами а також дослідженнями задоволеності користувачів отриманими послугами займаються іноземні та вітчизняні автори: C.-S. Chang, S.H. Low, F. Kelly, M. Chiang, Cassandras C. G., D.E. Lapsley, P. Hande, S. Zhang, Olsder G. J., S. Rangan, J.-W. Lee, Гилка У.Л., Безрук В.М., Чеботарева Д.В., Бекрман Л.Н., Поповський В.В., Турупалов В.В., Климаш М.М., Тихвинский В.В., Хімчак В.І., Маслов В.П., Новіков П.А та ін.

Незважаючи на велику кількість наукових робіт та публікацій, присвячених оптимальному управлінню безпроводовими мережами нового покоління з метою підвищення ефективності роботи мережі, виникає необхідність розробки нових методів управління, які будуть враховувати рівень задоволеності користувача телекомунікаційною послугою. Більшість існуючих методів оптимального управління ресурсами безпроводових телекомунікаційних мереж засновується на інформації тільки про швидкість передачі, і орієнтуються лише на рівень сеансу зв'язку. Запропоновані методи управління безпроводовими мережами нового покоління базуються на

забезпеченні задоволеності користувачів і спрямовані на підвищення ефективності роботи мережі за рахунок оптимального перерозподілу мережевих ресурсів на основі використання двосторонньої цільової функції корисності абонента при обмеженнях на пропускну спроможність операторів зв'язку. Зважаючи на все вищесказане, можна вважати дане питання важливим та актуальним.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами та темами. Питання та задачі, котрі розглянуті в дисертаційній роботі, відповідають Державній програмі розвитку «Про основні наукові напрями та найважливіші проблеми фундаментальних досліджень у галузі природничих, технічних і гуманітарних наук на 2009-2013 рр.» позиція 1.2.5.2 «Науково-технічне забезпечення процесів конвергенції в телекомунікаціях» та 1.2.5.4. «Розвиток стільникових систем широкосмугового радіодоступу», котра затверджена наказом МОН України, Національною Академією Наук України від 26.11.09 № 1066/609. Ряд положень дисертації є результатами науково-дослідної роботи, виконаної при особистій участі автора в якості виконавця в період 2011-2013 рр. (ДР № 0111U001424 «Розробка теорії синтезу дискретно-безперервних систем автоматичного керування технологічними об'єктами» та Н-03-11 «Дослідження і розробка методів проектування та підвищення технічної ефективності цифрових систем управління, інформаційно-вимірювальних систем і телекомунікацій»).

Результати дисертаційного дослідження використані в учбовому процесі ДВНЗ Донецького національного технічного університету при побудові лекційного курсу дисциплін «Мобільні системи зв'язку», «Основи теорії систем та мереж зв'язку». Окремі результати дослідження прийняті до впровадження при переході до стандартів 4G ПрАТ «МТС-Україна», що підтверджено відповідними документами.

Метою роботи є удосконалення процесу управління безпроводовою телекомунікаційною мережею на основі застосування методів оптимального управління.

Для досягнення мети необхідно вирішити загальну науково-прикладну задачу розробки методів оптимального управління ресурсами безпроводової телекомунікаційної мережі нового покоління.

В свою чергу, для рішення загальної науково-прикладної задачі дисертаційного дослідження необхідним стає вирішення наступних **задач**:

- провести аналіз розвитку безпроводових телекомунікаційних мереж нового покоління;
- вдосконалити метод визначення керованості стану безпроводової мережі нового покоління як дискретно-безперервної системи;
- розробити двосторонню цільову функцію корисності безпроводової телекомунікаційної мережі для різних типів сервісів;
- розробити методи оптимального управління ресурсами безпроводової телекомунікаційної мережі нового покоління;

- розробити структуру системи управління для підвищення ефективності функціонування безпроводової телекомунікаційної мережі на основі запропонованих методів оптимального управління;

- розробити програмно-апаратний комплекс для реалізації запропонованих методів.

Об’єкт дослідження: процеси функціонування безпроводових телекомунікаційних мереж нового покоління.

Предмет дослідження: методи оптимального управління безпроводовими телекомунікаційними мережами нового покоління.

Методи дослідження: методи дослідження операцій, методи ідемпотентних алгебр, методи математичного моделювання.

Наукова новизна полягає в розробці методів управління безпроводовими телекомунікаційними мережами нового покоління та полягає в наступному:

- удосконалено метод визначення керованості стану дискретно-безперервної системи, який, на відміну від відомих, дозволяє за рахунок інформації про стан мережі LTE шляхом знаходження послідовності керуючих впливів визначити керованість стану мережі;

- вперше розроблена двостороння цільова функція корисності безпроводової телекомунікаційної мережі, яка враховує співвідношення сеансів дуплексного режиму обміну даними та дозволяє здійснити оптимальний перерозподіл ресурсів мережі;

- вперше розроблено метод управління ресурсами безпроводової телекомунікаційної мережі нового покоління, котрий, на відміну від відомих, базується на запропонованій двосторонній функції корисності мережі, враховує вартість використання ресурсів і забезпечує оптимальний режим роботи мережі;

- вперше розроблено метод регулювання швидкості передачі, який, на відміну від відомих, враховує задоволеність абонента послугою, що йому надається, та підвищує ефективність розподілу ресурсів.

Практичне значення отриманих в ході дисертаційного дослідження результатів для галузі телекомунікацій полягає в наступному:

- розроблена структура системи управління, котра на основі запропонованих методів оптимального управління підвищує ефективність функціонування безпроводової телекомунікаційної мережі нового покоління від 8 % до 21 % для різних типів сервісів;

- розроблено програмно-апаратний комплекс визначення керованості стану дискретно-безперервної системи та розрахунку оптимальної кількості ресурсних блоків базової станції безпроводової мережі нового покоління при зміні стану системи;

- окремі результати дослідження прийняті до впровадження при переході до стандартів 4G ПрАТ «МТС-Україна» (акт впровадження від 13.03.2014 р.)

Особистий внесок здобувача полягає в самостійному отриманні основних наукових результатів, експериментальних досліджень та апробації результатів. У роботах, виконаних зі співавторами й опублікованих у виданнях, що входять

до Переліку наукових фахових видань України, авторів належать: [1, 8] – моделювання дискретно-безперервних систем; [3] – аналіз частотних характеристик дискретно-безперервних систем; [4] – вибір критерію оптимального керування; [2, 9, 10] – метод визначення керованості стану дискретно-безперервної системи; [8] – оптимізація безпроводових динамічних систем; [9, 10] – вибір критерію оптимізації безпроводових динамічних систем; [5] – формулювання функції корисності при оптимізації безпроводових телекомунікаційних систем; [6, 14] – використання функції корисності при рішенні проблеми оптимального управління безпроводовими телекомунікаційними системами; [7, 12, 13] – розробка методів оптимального управління безпроводовими телекомунікаційними мережами нового покоління.

Апробація результатів дисертації. Основні результати досліджень були представлені та обговорені на наступних науково-технічних конференціях:

– XVIII, XIX Міжнародні конференції з автоматичного управління «Автоматика–2011» м. Львів, Україна, 28-30 вересня 2011 р. та «Автоматика 2012» 26-28 вересня м. Київ, Україна, 2012р;

– VI, VIII Міжнародні молодіжні конференції «Сучасні проблеми радіотехніки та телекомунікацій» «РТ-2010» 19-24 квітня 2010 р. та «РТ-2012» м. Севастополь, АР Крим, Україна, 23-27 квітня 2012р.;

– Науково-методична конференція «Сучасні проблеми телекомунікацій і підготовка фахівців в галузі телекомунікацій – 2012» м. Львів, Україна, 1-3 листопада 2012р.

– VIII Міжнародна науково-технічна конференція «Сучасні інформаційно-комунікаційні технології» м. Київ, Україна, 1-5 жовтня 2012р.;

– VI Міжнародний науково-технічний симпозіум «Новые технологии в телекоммуникациях» ГУИГТ-Карпати, Україна 21-25 січня 2013р.

Публікації. Матеріали дисертації опубліковані в 14 наукових працях, з них 7 – статті у фахових виданнях, згідно з переліком ДАК України, 1 з яких у виданні, що входить до міжнародної наукометричної бази Index Copernicus [5], 7 – тези доповідей на науково-технічних конференціях.

Структура та обсяг дисертаційної роботи. Дисертація складається з вступу, чотирьох розділів, висновків, списку використаних джерел та додатків. Повний обсяг роботи становить 144 сторінки, у тому числі рисунок на двох сторінках, 3 додатки на 17 сторінках і список використаних джерел – 110 найменувань на 12 сторінках. Дисертація написана українською мовою.

ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

У **вступі** розкрито стан розглянутої науково-прикладної проблеми в галузі телекомунікацій, обґрунтована актуальність, визначено зв'язок роботи з науковими програмами, планами і темами, сформульовані мета, об'єкт, предмет, методи і завдання дослідження, представлені наукова новизна і практична цінність дисертаційної роботи.

Перший розділ присвячений аналізу існуючих методів оптимізації та концепцій управління безпроводовими мережами нового покоління, виявленню їх недоліків та винесенню вимог до розробки методів оптимального управління безпроводовими мережами.

Розподіл ресурсів – важлива задача в телекомунікаційних мережах, спрямована на підвищення ефективності мережі та ступені задоволеності абонента. Проаналізовано особливості впровадження безпроводових мереж нового покоління та шляхи оптимізації розподілу ресурсів в них. Зазначено, що при оптимізації не враховується рівень задоволеності користувачем отриманою послугою. Проаналізовано основні положення підходу максимізації корисності мережі, виявлено його основні переваги та недоліки. Зазначено, що на сьогодні не існує оптимальної концепції управління ресурсами безпроводової мережі нового покоління. Доведено необхідність удосконалення існуючих рішень.

У **другому розділі** вдосконалено метод визначення керованості стану безпроводової мережі нового покоління як дискретно-безперервної системи (ДБС) та розроблено програмно-апаратний комплекс визначення керованості стану ДБС.

Для представлення моделей телекомунікаційних мереж у вигляді дискретно-безперервних систем застосовують апарат ідемпотентних алгебр, зокрема, Max-Plus алгебру. Основною перевагою такого апарату є можливість представлення динамічних змін в системі за допомогою лінійних рівнянь. Топологія мережі задається орієнтованим ациклічним графом $G(N,A)$. Динаміка будь-якого вузла мережі описується в термінах Max-Plus алгебри за допомогою рівняння:

$$x_i(k) = \tau_{ik} \otimes a_i(k) \oplus \tau_{ik} \otimes x_i(k-1).$$

де τ_{ik} – тривалість обслуговування, $a_i(k)$ – момент надходження заявки в чергу на обслуговування та $x_i(k)$ – момент часу завершення обслуговування k -ї заявки в i -му вузлі мережі. Вхідні умови можуть задаватися векторами n станів. Тоді рівняння динаміки представляють у векторно-матричній формі:

$$x(k) = T_k \otimes a(k) \oplus T_k \otimes x(k-1).$$

Перехід в інший стан або спрацювання некерованого переключення відбувається лише тоді, коли всі стани від S_i до S_q в передобласті переходу будуть зайняті умовним маркером, як це задається часовими оцінками сповільнення процесу a_i . Якщо в графі розглядається керований ззовні перехід, то прийнято вважати, що він відбувається при додатковій логічній умові переходу, заданій апіорі. Часова відмітка, в якій логічна умова є дійсною, позначається u і тоді для маркованих часових точок стану ДБС в післяобласті керованого переходу маємо:

$$x_j = \left[\bigoplus_{i=1}^q a_i x_i \right] \oplus u, j = q+1, \dots, q+r.$$

Для кожного переміщення в графі синхронізації ДБС (рисунок 1) таким чином можна встановити часові точки переходу і марковані часові відмітки заняття стану в після області. Розглянутий підхід для окремого переходу може бути узагальненим на всю послідовність переходів графа синхронізації ДБС.

Нехай заданий деякий граф синхронізації системи з $|S|$ положеннями і P логічними зовнішніми умовами переключення переходів.

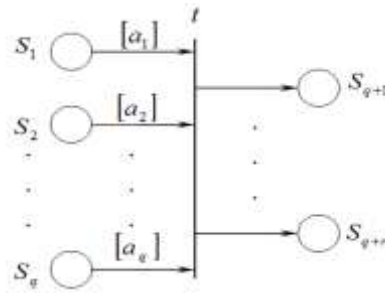


Рис.1. Структура переходу графа синхронізації ДБС

В цілому для графа синхронізації, можна отримати систему з n рівнянь:

$$\begin{aligned} x_1 &= a_{11}x_1 \oplus \dots \oplus a_{1n}x_n \oplus b_{11}u_1 \oplus \dots \oplus b_{1p}u_p, \\ &\vdots \\ x_n &= a_{n1}x_1 \oplus \dots \oplus a_{nn}x_n \oplus b_{n1}u_1 \oplus \dots \oplus b_{np}u_p. \end{aligned} \quad (1)$$

Або у векторно-матричній формі:

$$\mathbf{x} = \mathbf{A}\mathbf{x} \oplus \mathbf{B}\mathbf{u}. \quad (2)$$

При цьому: $x = [x_1 \dots x_n]$ – вектор стану, кожний елемент x_i якого фіксує момент часу маркування (включення) переходу S_i . Вплив зовнішніх логічних умов маркування (переключення) задається за допомогою вектора керування $u = [u_1 \dots u_p]$.

Кожна логічна умова маркування (переключення) переходу S_i стає дійсною в певній часовій точці розвитку процесу, яка також враховується в рівняннях (1). В цьому сенсі кожний окремий елемент $u_i, i = 1, \dots, p$ вектора управління розглядається як управляючий вплив на i -й перехід. Значення кожного елемента a_{ij} матриці \mathbf{A} рівняння (2) відповідає часовій оцінці передобласті переходу $T_i(S_i, t_k)$ з положення S_i в положення S_j , тобто характеризує часову інерційність переходу. Елементи матриці \mathbf{B} вказують на ті переходи ДБС, які є керованими ззовні. В графах синхронізації переходи з одного положення в інше створюють замкнені цикли. Відповідно, $x_i(k)$ – це часова точка, в якій положення S_i займається (маркується) k -й раз.

Для встановлення початку нового переміщення по циклу має бути визначено положення S_i , зайняття (маркування) якого означає, що закінчено цикл k і починається $k+1$ цикл переміщення по графу синхронізації. В цьому випадку в термінах змінних стану говорять про розрахунок стану $x_i(k+1)$ через $x_i(k)$. Якщо ж положення S_i не є стартовою позицією циклу, то $x_i(k+1)$ знаходиться через $x_j(k+1)$, тобто відносно часової відмітки в поточному циклі. Наведені твердження для окремої стартової позиції графа синхронізації, що розглядається на рисунку 1, матимуть наступне представлення з урахуванням впливу зовнішнього логічного управління u :

$$x_j(k+1) = a_1 x_1(k) \oplus \left(\bigoplus_{i=2}^{q-1} a_i x_i(k+1) \right) \oplus a_q x_q(k) \oplus u(k+1). \quad (3)$$

Сегмент мережі змодельований у вигляді ДБС, яка має шість операційних позицій $S_1 \dots S_6$, що відповідає наявності шістьох абонентів у зоні дії базової станції. Три з позицій S_2, S_4, S_6 – є початково маркованими.

Досліджено, що циклічність графа, представленого на рисунку 3, дорівнює одиниці. Якщо для критичного графа $G^c(\mathbf{M})$ циклічність $\rho = 1$, то проміжок часу між k і $(k+1)$ маркуваннями складає точно λ одиниць часу. Поведінка ДБС на цьому етапі може розглядатись як власний усталений стан, або коротко – власний стан ДБС.

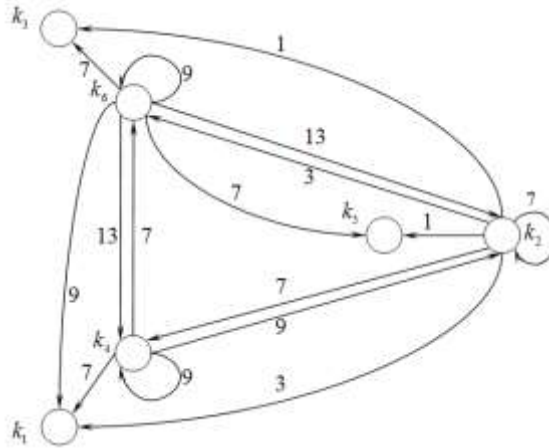


Рис. 2. Граф $G(\mathbf{M})$

При цьому можливим стає визначення керованості стану ДБС. Розглядається дискретно-безперервна система, яка задана в канонічній формі наступною системою рівнянь в базисі Мах-plus-алгебри:

$$\begin{aligned} x(k+1) &= A \cdot x(k) \oplus B \cdot u(k+1), \\ y(k+1) &= C \cdot x(k+1), \end{aligned} \quad (4)$$

де $x(k) \in \bar{R}^m$, елемент $x_i(k)$ – це момент часу, в який i -а подія відбудеться в k -му циклі розвитку процесу, $i = \overline{1, m}$;

$u(k) \in \bar{R}^n$ – момент часу, в який k -й вектор керування безпосередньо діє на систему,

A, B, C – матриці відповідних розмірностей, елементи яких належать до \bar{R} .

Перше рівняння системи (4) означає, що поява події i в $(k+1)$ -му циклі має місце лише тоді, коли відбудуться всі події у всіх попередніх k циклах та буде завершено керуючий вплив, що діє на подію i . Тобто маємо $\bigoplus_{j=1}^m a_{ij} x_j(k)$, $\bigoplus_{l=1}^n b_{il} u_l$ (a_{ij} – тривалість j -ї події, що безпосередньо передуює події i , u_l – момент часу

запуску керування l та b_{il} – затримка часу до запуску події i , крім того, $b_{il} = -\varepsilon$ в випадку, якщо l безпосередньо не передує i).

У випадках представлення системи графом синхронізації, стан відповідає часу маркування позицій графа, а керування докладається до деяких переходів, затримка відповідна часу запуску переходу.

Перше рівняння в системі (4) можна записати

$$x(k+1) = [B \mid A] \cdot \begin{pmatrix} u(k+1) \\ x(k) \end{pmatrix} \quad (5)$$

або в розгорнутому виді:

$$x(k+1) = [\Gamma_{k-i} \mid A^{(k+1-i)}] \cdot \begin{pmatrix} u_{k-i} \\ x(i) \end{pmatrix},$$

де $\Gamma_{k-i} = [B \mid A \cdot B \mid \dots \mid A^{(k-i)} \cdot B]$ та $u_{k-i} = (u(k+1) \ u(k) \ \dots \ u(i+1))^T$ – послідовність керуючих впливів, що переводить систему зі стану $x(i)$ в стан $x(k+1)$.

Припустимо, що для заданого $x = x(k+1)$, існує допустимий початковий стан $x(i)$ і послідовність вхідних впливів $u(i+1), u(i+2), \dots, u(k+1)$, така, що рівняння (5) є тотожністю. Тоді, починаючи зі стану $x(i+1) = A \cdot x(i) \oplus B \cdot u(i+1)$, можна досягти $x(k+1)$ за $k-i$ кроків розвитку процесу (тобто $x(i), x(i+1), \dots, x(k)$ – всі є допустимими початковими станами). Оскільки $x(i) \leq x(i+1)$, отримаємо, що множини допустимих початкових станів АІС та вхідних керуючих векторів ІСВ є частково впорядкованими.

Перевірка необхідної умови керованості стану $x(k+1)$, є перевіркою, чи є стан $x(k+1)$ фіксованою точкою матриці Γ_k^∇ .

Метод перевірки керованості стану x за необхідною умовою має вид:

Крок 1. $k := 1, x(0) := -\varepsilon$.

Крок 2. Перевірити необхідну умову керованості. Обчислити матриці Γ_k , Γ_k^{-T} , та матрицю $\Gamma_k^V = \Gamma_k * \Gamma_k^{-T}$. Якщо умова виконана, переходити до кроку 3, інакше – переходити до кроку 5.

Крок 3. Використовуючи матрицю Γ_k^{-T} з рівняння $u_k = \Gamma_k^{-T} * x$ обчислити вектор u_k . За рівнянням $x(k+1) = \Gamma_k \cdot u_k$ обчислити вектор стану $x(k+1)$.

Крок 4. Якщо виконане $x(k+1) = x$, стан x є досяжним, починаючи зі стану $x(0) = -\varepsilon$ за k кроків, а отже, є керованим. Перехід до кінця методу.

Крок 5. $k := k + 1$ і переходити на крок 6.

Крок 6. Вважати стан x некерованим. Виконання умови виходу з циклу.

Для змодельованого сегменту безпроводової мережі нового покоління визначено, що власний стан ДБС є керованим.

В **третьому розділі** розроблено новий підхід до оптимального управління ресурсами безпроводової телекомунікаційної мережі на основі використання цільових функцій корисності рівня користувача КФК.

Було сформульовано функції корисності для різних типів сервісів (голосовий виклик, відеовиклик, HTTP-сервіси). Виділено два підходи для формулювання функцій корисності – статичний: для сервісів, котрі вимагають певного рівня швидкості в усі моменти часу; та стохастичний: періоди потреби користувача у певній швидкості передачі випадковим чином чергуються з паузами (коли користувач проглядає завантажену сторінку). До функцій корисності висунуто вимоги, котрі враховують обмежену пропускну здатність комунікаційних ланок, вимоги до параметрів QoS.

Позначимо (i_0, i_1) i -ту пару користувачів, що задіяні в одному телекомунікаційному сервісі. Якщо пара i використовує дуплексний сервіс, кожен абонент здійснює як сеанс передачі, так і прийому: користувач i_0 передає свої дані i_1 , отримуючи дані від співрозмовника. Аналогічно є поведінка i_1 . Для напівдуплексних сервісів кожний абонент або передає, або отримує дані. Для абонента i_j позначимо швидкість передачі x_{ij}^t та прийому x_{ij}^r . Очевидно:

$$x_{i_0}^t = x_{i_1}^r \text{ та } x_{i_1}^t = x_{i_0}^r.$$

Для кожного користувача i_j можна визначити функцію корисності сесії (СФК) для обох режимів, яка залежить від швидкості передачі даних, параметрів сеансу прийому та передачі. Нехай $u_{i_j}^t(x_{i_j}^t)$ та $u_{i_j}^r(x_{i_j}^r)$ відповідно функції корисності сесій передачі та прийому. Визначимо двосторонню ФК, що описує рівень задоволеності користувача в цілому (КФК) як $U_{i_j}(u_{i_j}^t, u_{i_j}^r)$. Для напівдуплексного сеансу зв'язку КФК визначається, як СФК активного сеансу:

$$U_{i_j}(u_{i_j}^t, u_{i_j}^r) = \begin{cases} u_{i_j}^t \\ u_{i_j}^r \end{cases}, \text{ відповідно до напрямку передачі.}$$

Для абонента з дуплексним типом з'єднання представимо КФК як функцію від СФК урахуванням коефіцієнтів θ та ρ :

$$U_{i_j}(u_{i_j}^t, u_{i_j}^r) = [\theta_{i_j}^t (u_{i_j}^t)^{\rho_i} + \theta_{i_j}^r (u_{i_j}^r)^{\rho_i}]^{1/\rho_i}.$$

В залежності від коефіцієнту заміщення ρ - величини, на котру користувач готовий знизити СФК одного свого сеансу, щоб підвищити її для іншого, уточнено КФК для різних типів сервісів:

$$\rho_i = 1, \sigma_i \rightarrow \infty,$$

$$U_{i_j}(u_{i_j}^t, u_{i_j}^r) = \theta_{i_j}^t u_{i_j}^t + \theta_{i_j}^r u_{i_j}^r.$$

КФК стає лінійною та представляє собою зважену суму від СФК обох сеансів з ваговими коефіцієнтами, що визначаються сумісним параметром $\theta_{i_j}^t, \theta_{i_j}^r$. В цьому випадку задоволеність користувача кожним напрямком зв'язку має незалежний вплив на загальну КФК (наприклад, сервіси передачі файлів FTP). Різний вплив сенсів на загальну задоволеність відбивається різними значеннями сумісного параметра θ ;

$$\rho_i = 0, \sigma_i \rightarrow 1,$$

$$U_{i_j}(u_{i_j}^t, u_{i_j}^r) = \theta_{i_j}^t \log(u_{i_j}^t) + \theta_{i_j}^r \log(u_{i_j}^r).$$

В цьому випадку КФК визначається як зважена сума логарифмованих СФК. Отже, можливе досягнення зваженої пропорційної справедливості між режимами прийому та передачі за допомогою використання такої функції корисності (сервіси з незначним ступенем інтерактивності, наприклад відеодані у відеоконференціях та відео за запитом). Для таких сервісів СФК сеансу передачі має балансувати з СФК сеансу прийому для підвищення КФК;

$$\rho_i = \infty, \sigma_i \rightarrow 0,$$

$$U_{i_j}(u_{i_j}^t, u_{i_j}^r) = \min[u_{i_j}^t, u_{i_j}^r].$$

Функція корисності кожного клієнта визначається мінімальним значенням з рівнів корисності сесій (сервіси з високим ступенем інтерактивності, наприклад аудіодані в відео конференціях, ігрові сервіси та VoIP). Для таких сервісів навіть значне підвищення СФК одного сеансу не дозволяє покращити КФК. Загальна функція корисності мережі визначається як сума КФК всіх користувачів:

$$\Phi K = \sum_{i \in N} [U_{i_0}(u_{i_0}^t(x_{i_0}^t), u_{i_0}^r(x_{i_0}^r))] + \sum_{i \in N} [U_{i_1}(u_{i_1}^t(x_{i_1}^t), u_{i_1}^r(x_{i_1}^r))]$$

Припустимо, що маршрут для всіх сеансів визначений: $L(i_j)$ - множина комунікаційних ланок, котрі використовуються сеансом передачі абонента i_j для здійснення наскрізного з'єднання. Відповідно, $S^t(l)$ - множина користувачів, які ділять для сеансу передачі комунікаційну ланку l з пропускною здатністю c_l . Загальна швидкість передачі по кожній ланці не може перевищувати її пропускну здатність:

$$\sum_{s \in S^t(l)} x_s \leq c_l, \quad l = 1, \dots, L$$

Оскільки одна й та сама комунікаційна ланка поділяється в маршрутах передачі різних користувачів, треба враховувати це при розрахунках.

Для вищерозглянутої моделі сформулюємо задачу оптимізації як знаходження максимуму загальної ФК мережі.

$$P: \max_{x_s \in I_s} \sum_s U_s(x_s) \quad (6)$$

При обмеженнях:

$$\sum_{s \in S^t(l)} x_s \leq c_l, \quad \forall l \in L;$$

$$x_{i_0}^t = x_{i_1}^r, \quad x_{i_0}^r = x_{i_1}^t, \quad \forall i \in N;$$

$$x_{i_j} \geq 0, \quad \forall j \in \{0,1\}, \quad \forall i \in N.$$

Результатом рішення даної задачі є оптимальні швидкості передачі та прийому кожного користувача $x_{i_0}^{t*}, x_{i_0}^{r*}$, котрі максимізують загальну ФК мережі та задовольняють вимогам за пропускною здатністю.

Задачу (6) пропонується вирішувати двоїтим методом. Функція Лагранжа в даному випадку буде мати вигляд:

$$L(x, p) = \sum_s U_s(x_s) - \sum_l p_l \left(\sum_{s \in S(l)} x_s - c_l \right) = \sum_s (U_s(x_s) - x_s \sum_{l \in L(s)} p_l) + \sum_l p_l c_l.$$

Слід враховувати обмеження:

$$\begin{aligned} x_{i_0}^t &= x_{i_1}^r, \quad x_{i_0}^r = x_{i_1}^t, \quad \forall i \in N, \\ x_{i_0}^t &\geq 0, x_{i_0}^r \geq 0, x_{i_1}^t \geq 0, x_{i_1}^r \geq 0. \end{aligned}$$

Задачу максимізації можна записати так:

$$\max \{ U_{i_0}(u_{i_0}^t(x_{i_0}^t), (u_{i_0}^r(x_{i_1}^r))) + U_{i_1}(u_{i_1}^t(x_{i_1}^t), (u_{i_1}^r(x_{i_0}^r))) - x_{i_0}^t \sum_{l \in L(i_0)} \lambda_l - x_{i_1}^t \sum_{l \in L(i_1)} \lambda_l \}$$

при обмеженнях: $x_{i_0}^t \geq 0, x_{i_1}^t \geq 0$.

Вирішуючи двоїсту задачу оптимізації, вузли мережі досягають оптимуму та обирають необхідний режим передачі по комунікаційній ланці. Пропонується наступний **метод управління телекомунікаційною** мережею, який враховує асинхронність у роботі мережі та можливу затримку з доставкою службової інформації. Кожна комунікаційна ланка та вузол-джерело виконують такі дії:

1. Комунікаційна ланка періодично отримує інформацію від усіх вузлів мережі, що пов'язані з нею.

2. В кожний момент оновлення даних $t \in T_l^1$ комунікаційна ланка проводить оцінку $\lambda_l(t)$ з $dD/dp_l(p(t))$ за $\hat{x}^l(t) = \sum_{s \in S(l)} \hat{x}_{l_s}(t)$ та регулює ціну:

$$p_l(t+1) = [p_l(t) - \gamma \lambda_l(t)]^+, \text{ при чому: } \forall t \notin T_l^1 \quad p_l(t+1) = p_l(t).$$

3. Комунікаційна ланка повідомляє про ціну передачі інформації всім пов'язаним з нею вузлам мережі.

Відповідно для вузлів мережі:

1. Вузол-джерело мережі періодично отримує інформацію про ціну потрібної для надання відповідної послуги смуги пропускання та оптимальний шлях від комунікаційної ланки.

2. В кожен момент оновлення даних $t \in T_s^2$ вузол-джерело за

$$\hat{p}^s(t) = \sum_{l \in L(s)} \hat{p}_{ls}(t), \quad \hat{p}_{ls}(t) = \sum_{t'=t-t_0}^t b_{ls}(t', t) p_l(t'), \quad l \in L(s);$$

обирає режим передачі, базуючись на поточних відомостях про ціну $\hat{p}^s(t)$:

$$x_s(t+1) = x_s(\hat{p}^s(t)).$$

Після чого вузол передає інформацію на обраній швидкості до отримання оновлених даних, тобто

$$\forall t \notin T_s^2 \quad x_s(t+1) = x_s(t).$$

3. Періодично вузол мережі повідомляє про обраний режим передачі відповідним комунікаційним ланкам.

Отже, якщо $\bar{x}_s(t)$ - обраний оптимальний режим передачі, і вузол мережі має інформацію про ціновий вектор:

$$\bar{x}_s(t) = x_s(p^s(t)),$$

то $\hat{p}^s(t)$ визначається за описаним методом, який наближує середнє значення ціни до реального за умови, що часові інтервали кінцеві.

При розгляданні НТТР-подібного сервісу зі змінними вимогами до швидкостей передачі метод управління має враховувати ці особливості. Динамічна ФК для такого сервісу може бути записана як:

$$U(x, s) = \begin{cases} U(x), & \text{для стану передачі в момент } t, \\ 0, & \text{для стану очікування.} \end{cases}$$

Більш того, оскільки стани передачі та очікування чергуються випадковим чином, $U(x, t)$ слід формулювати як стохастичну функцію. Таким чином, сервіс з вимогами до швидкості, які змінюються стохастично, буде змодельовано за допомогою стохастичної ФК.

Через динамічну зміну швидкості в часі та деякі відмінності від КФК, описаної раніше, вводяться нові позначення $S_{i,k}, \Phi_{i,k}(S_{i,k})$ відповідно для швидкості передачі та ФК для i -го користувача в k -му стані. ФК вважається строго увігнутою та зростаючою.

Задача оптимізації при управлінні інформаційними потоками для користувачів зі змінною стохастичною функцією корисності формулюється:

$$F = \sum_{k=1}^k P_k \sum_{i \in \bar{N}(l)} \Phi_{ik}(S_{ik}) \xrightarrow{S_k} \max$$

при обмеженнях: $\sum_{k=1}^k P_k \sum_{i \in \bar{N}(l)} S_{i,k} \leq c_l, \forall l, \sum_{k=1}^k P_k \Phi_{ik}(S_{ik}) \geq q_i, \forall i, S_{ik} \geq S_{ik}^{\min}, \forall i, k.$

Пропонується наступний метод регулювання швидкості передачі:

1. Задати початкові значення векторів μ, λ .
2. Для кожної n -ї ітерації виконувати наступні дії:
 - для кожного i -го користувача:
 - розраховується його швидкість передачі даних, базуючись на його множниках Лагранжа λ_i^n та множині каналів, яку він використовує:

$$S_{ik^n}^{\wedge n}(\mu_i^n, \lambda_i^n) = \arg \max_{S_{ik} \geq S_{ik}^{\min}} (1 + \lambda_i^n) \Phi_{ik}(S_{ik}) - S_{ik} \mu_i^n$$

- розраховується значення його множників Лагранжа для наступної ітерації, ґрунтуючись на поточному значенні ФК, та з урахуванням обмеження на QoS:

$$y_i^n = \Phi_{ik^n}(S_{ik^n}^{\wedge n}(\mu_i^n, \lambda_i^n)) - q_i,$$

$$\lambda_i^{n+1} = [\lambda_i^n - \Delta^n y_i^n]$$

- для кожного каналу розраховується значення його множників Лагранжа для наступної ітерації, базуючись на сумарній швидкості користувачів, що використовують цей канал.

Запропонований метод може бути реалізований окремо для кожного користувача та кожного каналу, ґрунтуючись тільки на локальній інформації.

$$x_l^n = c_l - \sum_{i \in N(l)} S_{ik^n}(\hat{\mu}_i^n, \lambda_i^n), \forall l,$$

$$\mu_l^{n+1} = [\mu_l^n - \Delta^n x_l^n]$$

В четвертому розділі було розроблено структуру системи управління безпроводовими телекомунікаційними мережами нового покоління на основі запропонованих методів керування ресурсами мережі.

Вхідні дані для управління задаються у вигляді векторів початкових станів, матриць внутрішніх умов керування системи та вектора зовнішніх керуючих впливів. Пропонується перед застосуванням методів оптимального управління ресурсами мережі перевірити, чи є досліджуваний стан безпроводової телекомунікаційної мережі нового покоління керованим, і якщо так, то здійснювати оптимізацію шляхом застосування запропонованих методів управління ресурсами безпроводової телекомунікаційної мережі нового покоління на основі використання цільових функцій корисності на рівні абонента (КФК). Залежно від типу сервісу формулюється двостороння цільова функція корисності та вирішується задача оптимального перерозподілу ресурсів безпроводової телекомунікаційної мережі. Роботу запропонованої систему управління промодельовано для сегменту безпроводової конвергентної мережі, яка об'єднує в собі декілька стандартів зв'язку. На рисунку 3 наведено результати порівняння КФК користувачів у відповідності з досягнутими СФК для методу управління на рівні користувача (3, 4) та традиційним методом управління на рівні сеансу (1, 2).

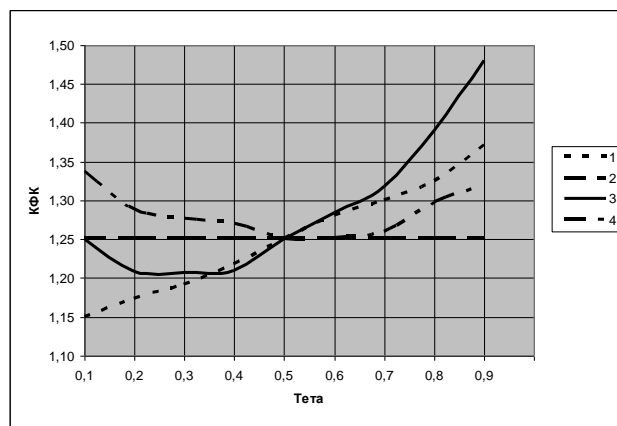


Рис.3. Порівняльні характеристики двох користувачів для МКК та МСК

Детально розглянута ефективність запропонованого методу залежно від типу сервісів, запитаних користувачами. Як було зазначено, для різних типів комунікаційних сервісів КФК описується як зважена сума лінійних або логарифмованих СФК з відповідними значеннями сумісних параметрів θ_{ij}^t , θ_{ij}^r , що виражають вагу сеансу прийому або передачі даного сервісу для кожного абонента. Якщо ваговий коефіцієнт знаходиться в межах від 0,4 до 0,6, тобто сеанси прийому і передачі відіграють приблизно рівну роль у загальній задоволеності користувача, то результати запропонованого методу практично не відрізняються від результатів попередніх методів.

Але при значеннях вагового коефіцієнту менших від 0,4, або більших за 0,6, що має місце для сервісів відео за запитом, MMS, завантаження великих файлів, використання запропонованого в роботі методу дозволяє збільшити ефективність розподілу ресурсів мережі від 8% до 21%.

В додатках наведено лістинг програмно-апаратного комплексу визначення керованості стану, результати дослідження ефективності запропонованих методів оптимального управління безпроводовими телекомунікаційними мережами нового покоління та відповідні документи впровадження результатів дослідження.

ВИСНОВКИ ПО РОБОТІ

В дисертаційній роботі вирішено нову науково-прикладну задачу з розробки методів оптимального управління ресурсами безпроводової телекомунікаційної мережі нового покоління. В ході досліджень було досягнуто мети дисертаційної роботи та удосконалено процес управління безпроводовою телекомунікаційною мережею на основі застосування методів оптимального управління.

Проведений аналіз тенденцій розвитку ринку та існуючих методів оптимального управління безпроводовими мережами виявив, що в умовах стрімкого розвитку та зростаючої конкуренції серед операторів зв'язку, методи управління ресурсами безпроводових мереж базуються лише на побудові функцій корисності операторів, і зовсім не враховують задоволеність абонента послугою, що йому надається.

Проведені в дисертації дослідження, результати вирішення окремих наукових завдань, а також результати розрахунків і експериментів дозволили отримати такі наукові та практичні результати:

–удосконалено метод визначення керованості стану дискретно-безперервної системи, котрий базується на інформації про моменти надходження заявки в зону дії базової станції мережі LTE, кількості заявок на одну базову станцію та визначає вектор управління станом мережі;

–вперше розроблено двосторонню цільову функцію корисності безпроводової телекомунікаційної мережі, яка відрізняється від існуючих врахуванням дуплексного режиму обміну даними та будується не тільки для сеанса передачі, але й для абонента в цілому;

–вперше розроблено метод управління ресурсами безпроводової телекомунікаційної мережі нового покоління, котрий, на відміну від існуючих, враховує функцію корисності мережі та вартість використання ресурсів і забезпечує оптимальний режим роботи мережі;

–вперше розроблено метод регулювання швидкості передачі, який, на відміну від відомих, враховує задоволеність абонента послугою, що йому надається, та підвищує ефективність розподілу ресурсів;

–розроблена структура системи управління, котра на основі запропонованих методів оптимального управління підвищує ефективність

функціонування безпроводової телекомунікаційної мережі нового покоління від 8 % до 21 % для різних типів сервісів;

– розроблено програмно-апаратний комплекс визначення керованості стану дискретно-безперервної системи та розрахунку оптимальної кількості ресурсних блоків базової станції безпроводової мережі нового покоління при зміні стану системи;

Результати теоретичних досліджень підтверджуються проведеним моделюванням для різних вхідних умов. Наукові положення, висновки й рекомендації дисертаційної роботи використані при виконанні науково-дослідних тем ДВНЗ «Донецький національний технічний університет» НДР ДонНТУ Н-3-11 «Дослідження і розробка методів проектування та підвищення технічної ефективності цифрових систем управління, інформаційно-вимірювальних систем і телекомунікацій» та ДР № 0111U001424 «Розробка синтезу дискретно-безперервних систем автоматичного управління технологічними об'єктами», а також прийняті до впровадження при переході до стандартів 4G ПрАТ «МТС-Україна», що підтверджено відповідними документами.

Достовірність отриманих результатів підтверджено результатами моделювання для різних вихідних умов.

Розроблені метод управління ресурсами безпроводових телекомунікаційних мереж нового покоління та система управління забезпечують підвищення ефективності роботи мережі в умовах обмеженості її ресурсів. Запропонований метод не має жорстких вимог до структури мережі та може бути застосований на будь-яких топологіях.

СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

1. Бессараб В.І. Аналіз частотних характеристик дискретно-безперервних систем при застосуванні критичного графа динаміки [Текст] / Бессараб В.І., Воропаєва А.О., Лозинська В.М // Наукові праці Донецького національного технічного університету. Серія: Обчислювальна техніка та автоматизація. - Донецьк-2011. Випуск 20 (182). - С. 96-101.

2. Зайцева Е.Є. Визначення досяжності та керованості в дискретно-безперервних системах [Текст] / Зайцева Е.Є., Бессараб В.І., Воропаєва А.О. // Наукові праці Донецького національного технічного університету. Серія: Обчислювальна техніка та автоматизація. - Донецьк-2012. – Випуск 22 (200). - С. 17-23.

3. Бессараб В.І. Аналітична модель дискретно-безперервної системи з застосуванням апарату MAX-PLUS алгебри [Текст] / Воропаєва А.О. Бессараб В.І. // Всеукраїнський міжведомственный научно-технический сборник «Автоматизированные системы управления и приборы автоматики». – Харьков, 2010. – Выпуск 153. - С. 33-39.

4. Воропаєва А.О. Критерії та методи оптимізації бездротових динамічних систем [Текст] / Воропаєва А.О. // Науковий вісник Чернівецького національного університету імені Юрія Федьковича. Серія: Комп'ютерні

системи та компоненти. – Том 3, випуск 1. – Чернівці: ЧНУ, 2012. – Випуск 153. - С.85

5. Зорі А.А. Оптимізація розподілу ресурсів телекомунікаційної системи з урахуванням функції корисності [Текст] / Зорі А.А., Воропаєва А.О. // Збірник наукових праць Донецького інституту залізничного транспорту Української державної академії залізничного транспорту – Донецьк 2012 Випуск 32. – С.106-108.

6. Воропаєва А.О. Оптимальне управління режимами прийому та передачі телекомунікаційних мереж [Текст] / Воропаєва А.О. // Наукові праці Донецького національного технічного університету. Серія: Обчислювальна техніка та автоматизація. - Донецьк, ДонНТУ, 2013. Випуск 1 (24) - С - 89-95.

7. Воропаєва А.О. Методи оптимізації безпроводових мереж [Текст] / Воропаєва А.О. // Науковий вісник Чернівецького національного університету імені Юрія Федьковича. Серія: Комп'ютерні системи та компоненти. –Чернівці: ЧНУ, 2013. Том 4, випуск 3. – С.106-113

8. Бессараб В.І Критерій якості при синтезі оптимального керування в дискретно-безперервних системах [Текст] / Бессараб В.І., Воропаєва А.О. // Матеріали XVIII міжнародної конференції з автоматичного управління (Автоматика–2011), м. Львів, 28 – 30 вересня 2011 р. – С.69-70

9. Воропаєва А.О. Апарат моделювання процесів в дискретно-безперервних системах [Текст] / Воропаєва А.О., Бессараб В.І., Зайцева Е.Є. // Матеріали 8-ої міжнародної молодіжної конференції Сучасні проблеми радіотехніки та телекомунікацій РТ-2012, м. Севастополь 23-27 квітня 2012 р. – С. 124.

10. Воропаєва А.О. Застосування апарату ідемпотентних алгебр для рішення проблеми оптимального керування [Текст] / Воропаєва А.О. // Матеріали XIX Міжнародної конференції з автоматичного управління Автоматика 2012 // Київ. 26-28 вересня 2012 р. - С. 351.

11. Воропаєва А.О. Ієрархічний підхід до організації управління в телекомунікаційних мережах [Текст] / Матеріали 6-ої міжнар. молодіжної наук.-техн. конференції Сучасні проблеми радіотехніки та телекомунікацій «РТ-2010», 19-24 квітня 2010 р. – Севастополь: Вид-во СевНТУ, 2010. – С. 87

12. Воропаєва А.О. Методи оптимізації каналного ресурсу в бездротових динамічних системах [Текст] / Воропаєва А.О. // Матеріали науково-методичної конференції „Сучасні проблеми телекомунікацій і підготовка фахівців в галузі телекомунікацій - 2012” // Львів 1-3 листопада 2012, 138с., С. 63-67.

13. Воропаєва А.О. Вибір критерію оптимізації бездротових динамічних мереж [Текст] / Воропаєва А.О., Турупалов В.В. // Матеріали VIII міжнародної науково-технічної конференції „Сучасні інформаційно-комунікаційні технології” // Київ 1-5 жовтня 2012С.156-158.

14. Воропаєва А.О. Використання функції корисності для оптимального розподілу ресурсів телекомунікаційних мереж [Текст] / Воропаєва А.О. // Матеріали VI Международного научно-технического симпозиума «Новые технологии в телекоммуникациях» ГУИГТ-Карпаты 2013 // Киев 21-25 января 2013 - С.115-117.

АНОТАЦІЯ

Воропаєва А.О. Методи оптимального управління безпроводовими телекомунікаційними мережами нового покоління. - Рукопис.

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.12.02 – телекомунікаційні системи та мережі. – Українська державна академія залізничного транспорту, Харків, 2014.

Дисертацію присвячено розробці та дослідженню нових методів оптимального управління безпроводовими телекомунікаційними мережами нового покоління. Запропоновані методи оптимального управління після визначення керованості стану безпроводової телекомунікаційної системи регулюють швидкість передачі для різних сервісів, базуючись на інформації про двосторонню функцію корисності рівня абонента. Також методи дозволяють підвищити ефективність роботи безпроводової телекомунікаційної мережі нового покоління за рахунок оптимального перерозподілу ресурсів мережі, враховуючи задоволеність кожного користувача телекомунікаційним сервісом, від 8 % до 21 % для різних типів сервісів.

Ключові слова: безпроводова телекомунікаційна мережа нового покоління, система управління, двостороння функція корисності, перерозподіл ресурсів мережі.

АННОТАЦИЯ

Воропаева А.А. Методы оптимального управления беспроводными телекоммуникационными сетями нового поколения. - Рукопись.

Диссертация на получение ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.12.02 – телекоммуникационные системы и сети. – Украинская государственная академия железнодорожного транспорта, Харьков, 2014.

Диссертация посвящена разработке и исследованию новых методов оптимального управления беспроводными телекоммуникационными сетями нового поколения.

Проведённый анализ тенденций развития рынка и существующих методов оптимального управления беспроводными сетями показал, что в условиях их стремительного развития и растущей конкуренции среди операторов связи, предоставляющих такие услуги, существующие методы управления ресурсами беспроводных сетей базируются на построении функций полезности оператора и совершенно не учитывают уровень удовлетворённости абонента полученной услугой.

Следует отметить, что при динамическом изменении состояний системы, которое присуще беспроводным сетям вследствие постоянного изменения количества пользователей соты, интерференции, высокой мобильности абонентов, применение подходов оптимального распределения ресурсов не всегда может привести к желаемому результату, так как не все состояния сети

могут быть управляемыми (не при всех внешних условиях возможно прийти к желаемому состоянию за конечное количество шагов). При неуправляемости состояния изменения параметров управления могут не привести к изменениям выходных характеристик системы, а, следовательно, любые оптимизационные действия могут показаться бесполезными. В работе усовершенствован метод определения управляемости состояния беспроводной телекоммуникационной сети как дискретно-непрерывной системы. Для представления моделей такой системы использовался аппарат идемпотентных алгебр (Min-plus и Max-plus). Сегмент дискретно-непрерывной системы был промоделирован при помощи построения графа синхронизации, позиции которого учитывают количество заявок, поступивших на базовую станцию в определённый момент времени. Для модели был получен критический граф сети и проведено исследование зависимости перехода графа в установившееся состояние от цикличности графа.

Предложенные методы оптимального управления беспроводными телекоммуникационными сетями нового поколения позволяют повысить эффективность работы беспроводной телекоммуникационной сети нового поколения для разных типов сервиса от 8% до 21 % за счет оптимального перераспределения ресурсов сети, учитывая удовлетворенность каждого пользователя полученной услугой.

Автором разработана двусторонняя целевая функция полезности беспроводной телекоммуникационной сети, которая отличается от существующих учетом дуплексного режима обмена данными и строится не только на сеансовом уровне, но и для абонента в целом. Предложенная функция учитывает особенности различных телекоммуникационных сервисов (голосовой вызов, аудио в видеоконференции, видео в видеоконференции, передача файлов, HTTP-подобный сервис, on-line игры и т.д.) и строится по-разному для каждого из них. Двусторонняя функция полезности на уровне абонента позволяет учитывать уровень удовлетворённости каждым абонентом телекоммуникационной услугой, которую он получил.

Разработанная структура системы управления на основе предложенного метода оптимального управления повышает эффективность функционирования беспроводной телекоммуникационной сети нового поколения, учитывая ограниченность ресурсов сети. Система управления после проверки управляемости каждого состояния системы регулирует скорость передачи в различных сервисах, учитывая удовлетворённость пользователя услугой.

Работу предложенного метода было промоделировано для участка конвергентной беспроводной телекоммуникационной сети, которая включает в себя разные стандарты мобильной связи. Разработан программно-аппаратный комплекс для реализации предложенных методов, который позволяет проверить управляемость состояния дискретно-непрерывной системы и рассчитать оптимальное количество ресурсных блоков базовой станции для найденного значений оптимальной скорости приема/передачи.

Достоверность ожидаемых теоретических результатов подтверждена использованием адекватных методов, апробацией материалов диссертационного исследования на конференциях и актами внедрения. Предложенный автором метод не привязан к какому-либо стандарту беспроводной связи, и является универсальным для оптимального управления ресурсами телекоммуникационных сетей.

Ключевые слова: беспроводная телекоммуникационная сеть нового поколения, система управления, двусторонняя функция полезности, перераспределение ресурсов сети .

ABSTRACT

Voropaeva A. New generation wireless telecommunications networks optimal control methods. - Manuscript.

The dissertation is competing for the degree of Ph.D. on speciality 05.12.02 – telecommunication system and networks. – Ukrainian State Academy of Railway Transport, Khar'kov, 2014.

The thesis is devoted to the development and research of new methods of optimal control of the new generation wireless telecommunications networks. Proposed control system adjusts speed for various services based on information about the utility function of a two-way contact after determining the controllability condition telecommunication system. Proposed method can improve the efficiency of a wireless telecommunications network through a new generation of optimal reallocation of network resources, considering user satisfaction every telecommunications service that it receives.

Keywords: new generation wireless telecommunications network, control system, two-way utility function, redistribution of network resources.

ВОРОПАЄВА АННА ОЛЕКСАНДРІВНА

УДК 621.391

**МЕТОДИ ОПТИМАЛЬНОГО УПРАВЛІННЯ БЕЗПРОВОДОВИМИ
ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЙНИМИ МЕРЕЖАМИ НОВОГО ПОКОЛІННЯ**

АВТОРЕФЕРАТ
дисертації на здобуття наукового ступеня
кандидата технічних наук

Надруковано згідно з оригіналом автора

Підписано до друку 06.06.2014 р.
Формат 60 × 84 1/16. Папір офсетний. Друк. різнограф.
Ум. друк. арк. 0,9. Обл. - вид. арк. 1,0.
Замовлення № 34. Тираж 100 прим.

Надруковано: Видавництво «Донецька Політехніка»
83001, м. Донецьк, вул. Артема, 58, 9-уч. корп. Тел (062) 301-09-67