УДК 621.32

С.Г. Семенов

Харківський університет Повітряних Сил ім. І. Кожедуба, Харків

МЕТОД ЗНАХОДЖЕННЯ ОПТИМАЛЬНОЇ МНОЖИНИ МАРШРУТІВ У БАГАТОПРОЛІТНІЙ МЕРЕЖІ СИСТЕМИ ЗВ'ЯЗКУ СТАНДАРТУ 3G

Розроблений спосіб знаходження оптимальної множини маршрутів в багатопролітній мережі системи зв'язку стандарту 3G.

мережі зв'язку 3G, багатопролітні мережі, маршрутизація

Вступ

Постановка проблеми. В умовах реформування Збройних Сил України одним з основних чинників динамічного розвитку системи управління є впровадження передових технологій, що дозволяють якісно надавати нові «послуги» з широкими можливостями по обміну інформацією. Сьогодні однією з таких технологій є технологія широкосмугового зв'язку стандарту 3G. Відмітною особливістю даної технології є орієнтація її на надання «широкого» асортименту послуг високошвидкісної передачі даних.

Мережі супутникового зв'язку 3G розгорнені і функціонують у ряді країн світу, у тому числі і в Україні. Але не дивлячись на ряд переваг вказаної технології розвиток телекомунікаційних мереж і збільшення кількості «послуг» вимагає підвищення ефективності використання систем зв'язку 3G. Так для побудови розгалужених телекомунікаційних мереж (ТКМ) і розширення зон гарантованого радіопокриття в [1] пропонується використання технології багатопролітних мереж з перебудовуваною архітектурою. Це, у свою чергу, шляхом використання методів багатошляхової маршрутизації дозволить збільшити експлуатаційну пропускну спроможність ТКМ.

Аналіз літератури [2 – 4] показав, що безпосереднє використання всієї знайденої множини $\aleph_{баз}$ шляхів передачі інформації в мережах стандарту 3G не завжди виправдане. Це стає особливо очевидно у разі високої пропускної спроможності хоч би декількох з наявних каналів зв'язку, здатних забезпечити виконання необхідних вимог. Розширення такої множини приводить до збільшення таблиць маршрутизації вузлів зв'язку, ускладненню процесу розподілу інформації і, як наслідок, до зниження достовірності передачі інформації. Тому виникає необхідність в знаходженні такої множини маршрутів, використання якої в умовах обмежень, що накладаються, дозволить забезпечити максимально можливу достовірність передачі інформації, тобто у виборі зі всієї знайденої множини $\aleph_{баз}$ шляхів деякої (оптимальної) сукупності $\aleph_{вб}$ маршрутів.

Слід особливо відзначити, що для відомих методів маршрутизації [2, 7] характерний відсутність моніторингу поточного завантаження маршрутів (у тому числі і первинної), змін вхідного потоку інформації, а часто і технічного стану каналів зв'язку. Аналіз поведінки трафіку в «багатозв'язкових», мультісервісних мережах, проведений в [3, 4], показав, що такі зміни найбільш характерні в більшості практичних випадків. Тому використовуваний в таких методах принцип рівномірного завантаження вибраних M маршрутів приводить до перевантаження одних і до неефективного використання («недовантаженню») інших маршрутів.

Проілюструємо неприпустимість такого підходу для випадку повнозв'язного фрагменту ТКМ. Для визначення початкового завантаження підмережі ТКМ використовується алгоритм, структурна схема якого приведена на рис. 1.

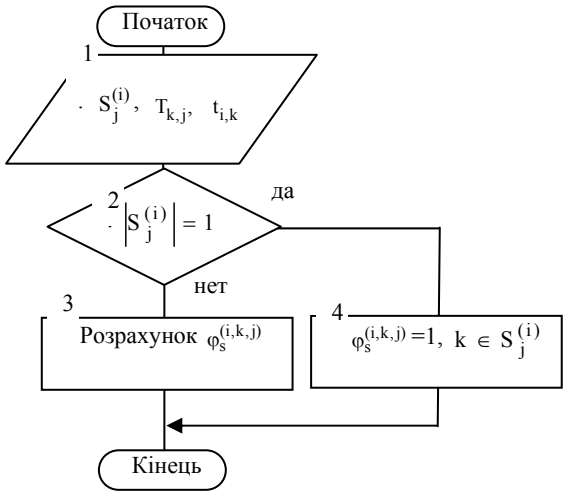

Рис. 1. Структурна схема алгоритму визначення початкового завантаження підмережі ТКМ

Його метою є розрахунок коефіцієнтів $\phi_s^{i,k,j}$ розподілу потоку інформації від джерела і до адресата j між «вузлами-наступниками» k з M-мірної множини $S_j^{(i)}$ залежно від значень «відстані» (наприклад, часу передачі інформаційних пакетів) між ВЗ на маршруті за співвідношенням

© С.Г. Семенов

$$\phi_s^{i,k,j} = \frac{1-(T_{k,j}+t_{i,k})/\sum\limits_{\xi\in S_j^{(i)}}\left(T_{\xi,j}+t_{i,\xi}\right)}{\left|S_j^{(i)}\right|-1}, \quad k\in S_j^{(i)}, \quad (1)$$

таких що

$$\sum_{k\in S_j^{(i)}} \phi_s^{i,k,j} = 1,$$

де $T_{k,j}$ – «відстань» (час передачі пакетів) від «вузла-наступника» *k* до адресату j на маршруті (i, j);

$t_{i,k}$ – «відстань» від джерела i до «вузла-наступника» k;

$\left|S_j^{(i)}\right|$ – потужність множини $S_j^{(i)}$.

При цьому якщо для деяких «вузлів-наступників» *y* і *x* відповідні їм «відстані» задовольняють нерівності $T_{y,j}+t_{i,y} > T_{x,j}+t_{i,x}$, то $\phi_s^{(i,y,j)} < \phi_s^{(i,x,j)}$ і, таким чином, велика частина інформаційних пакетів буде розподілена у напрямі вузла *x*. Очевидно, коли $S_j^{(i)}$ є множиною, що складається з одного елементу (M=1), коефіцієнт $\phi_s^{(i,k,j)} = 1$.

На рис. 2 приведені відповідно залежності часу $T_{тс}$ доставки інформаційних пакетів в ТКМ від інтенсивності λ сумарного вхідного потоку інформації для повнозв'язного фрагменту ТКМ в умовах мінімальної $\rho_{min} = 16$ Мбіт / с, максимальної $\rho_{max} = 30$ Мбіт / с, середньої $\rho_z = 19$ Мбіт / с пропускної спроможності каналів зв'язку (умови (I) - суцільні криві), $\rho_{min} = 14$ Мбіт / с, $\rho_{max} = 300$ Мбіт / с, $\rho_z = 70$ Мбіт / с (умови (II) – пунктирні криві) і вибраної кількості маршрутів (M=5 – рис. 2, а, M=4 – рис. 2, б, M=3 – рис. 2, в). Параметром сімейства кривих є використовуваний метод маршрутизації інформації в ТКМ («1» – метод одношляхової маршрутизації (DVA), «2» і «3» – відповідно відомий (MDVA) і адаптивний до умов початкового завантаження мережі методи багатошляхової маршрутизації).

З рис. 2 видно, що в умовах низького завантаження ТКМ (інтенсивність λ менше пропускної спроможності ρ_{max} в 3 і більше разів) доцільно застосування методу одношляхової маршрутизації. У решті випадків застосування методу багатошляхової маршрутизації, адаптивного до умов початкового завантаження мережі (криві 3), дозволяє зменшити час $T_{тс}$ доставки інформаційних пакетів в порівнянні з іншими методами

$$(T_{тс}^{(3)} < T_{тс}^{(2)} \quad та \quad T_{тс}^{(3)} < T_{тс}^{(1)},$$

тут цифра в дужках позначає номер методу маршрутизації), що підтверджує необхідність адаптивного рахунку стану мережі і відповідного розподілу потоку інформації по наявних M маршрутах. Відмова від такого розподілу, в умовах (I) вже при $\lambda = 22$ Мбіт / с для забезпечення $T_{тс} < T_{доп}$ вимагає використання M = 5 маршрутів (суцільні криві 2 рис. 2). Тоді як його реалізація дозволяє використовувати M=4 маршруту, тобто на один менше аж до $\lambda = 26$ Мбіт / с, і тим самим понизити в цих умовах імовірність $q^{(i,j)}(\aleph_{баз}, \Delta t)$ спотворення інформаційних пакетів практично удвічі.

Аналіз показав, що у ряді ситуацій адаптивний розподіл потоку інформації дозволяє «заощадити» 2 і більш маршрутів і тим самим додатково понизити імовірність $q^{(i,j)}(\aleph_{баз}, \Delta t)$ в порівнянні з відомими методами багатошляхової маршрутизації. Програш останніх виявляється тим більше, чим менше ρ_{min}, значення якого практично визначає час $T_{тс}^{(2)}$ в цьому випадку.

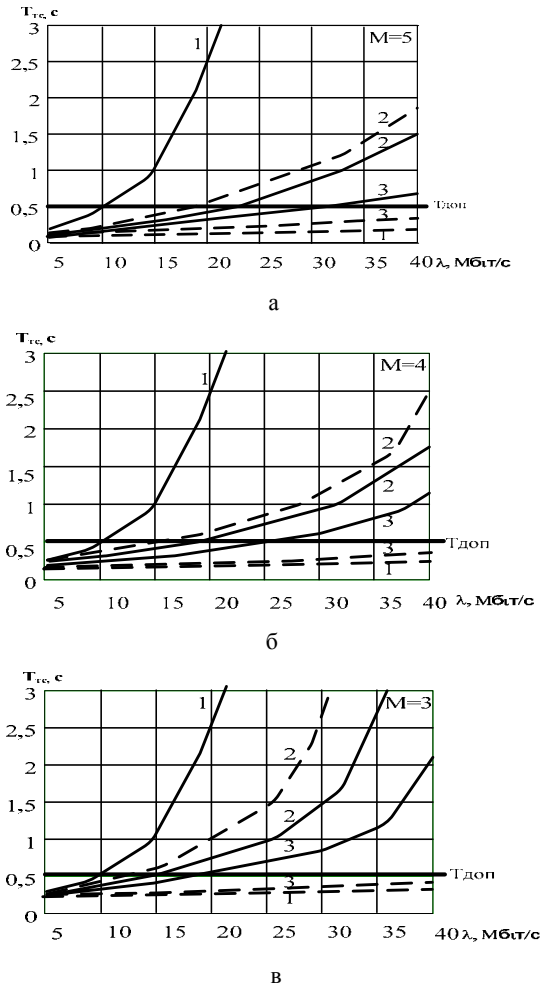

Рис. 2. Залежності збалансованого часу $T_{ТС}$ від інтенсивності λ сумарного вхідного потоку інформації

Таким чином, проведений аналіз свідчить про необхідність оптимізації множини маршрутів.

Пропонований спосіб знаходження оптимальної множини маршрутів для передачі цифрової інформації в ТКМ, структурна схема якого приведена на рис. 3, включає наступні етапи.

Етап 1. Постановка завдання оптимізації множини маршрутів в ТКМ.

На цьому етапі здійснюється вибір показника якості оптимізації множини маршрутів для передачі цифрової інформації в ТКМ, критерію оптимальності (блок 1) і обґрунтування обмежень (блок 2), що накладаються, залежно від призначення такої множини і вирішуваних задач.

Проведене в [4] математичне моделювання обґрунтовує вибір показника імовірності спотворення інформації в процесі її передачі, а як критерію оптимальності – його мінімальне значення.

Етап 2. Знаходження оптимальної множини маршрутів для передачі цифрової інформації в ТКМ.

На цьому етапі реалізується та або інша процедура знаходження оптимальної множини маршрутів, зміст якої повністю відповідає оптимізаційної задачі, сформульованої на етапі 1.

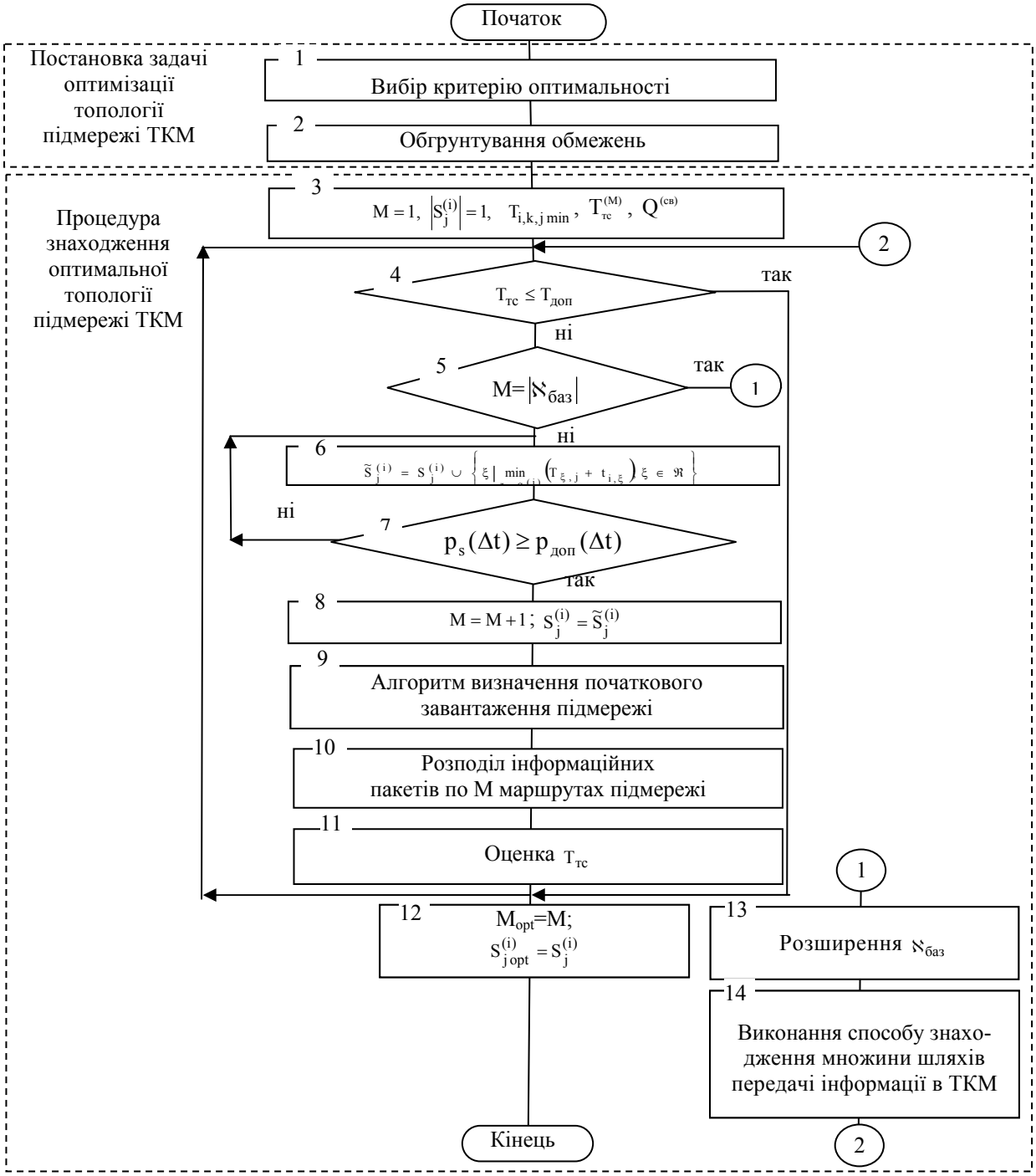

Рис. 3. Структурна схема способу знаходження оптимальної множини маршрутів для передачі інформації в багатопролітній мережі системи зв'язку стандарту 3G

В умовах повнозв'язного фрагменту ТКМ, що характеризується невеликим числом маршрутів (M = 5) і вузлів зв'язку (N = 6), доцільно використовувати процедуру знаходження оптимальної множини маршрутів в ТКМ, приведену на рис. 3.

Вона починається з перевірки можливості забезпечення необхідної своєчасності передачі цифрової інформації за рахунок одношляхової маршрутизації. Якщо така можливість існує (виконуються умови блоку 4), то ухвалюється рішення про передачу інформації поодинці ($M_{opt} = 1$) найкоротшому ($T_{i,j\,min}$) маршруту (блок 12), що забезпечує мінімально можливу імовірність $q(\aleph_{баз}, \Delta t)$ спотворення інформації. Інакше в блоці 8 ітераційно відбувається «нарощування» числа маршрутів (M=M+1) підмережі відповідно до правила вибору «вузла-наступника» ξ

$$\tilde{S}_j^{(i)} = S_j^{(i)} \cup \left\{ \xi \middle| \min_{\xi \notin S_j^{(i)}} \left(T_{\xi,j} + t_{i,\xi} \right); \xi \in \Re \right\}, \qquad (2)$$

по якому з маршрутів, що залишилися, вибирається черговий з мінімальною «відстанню», поповнюючи тим самим множину $S^{(i)}_j$ «вузлів-наступників», задіяних раніше для передачі інформації.

Якщо імовірність $p_s(\Delta t)$ «неспотворення» інформаційного пакету на вибраному черговому маршруті задовольняє умові $p_s(\Delta t) \geq p_{доп}(\Delta t)$, то ухвалюється рішення про включення даного маршруту в множину $\aleph_{вб}$ для подальшого розподілу інформації по ньому. Інакше вибирається черговий, з мінімальною «відстанню», маршрут, поповнюючи тим самим множину $S^{(i)}_j$ «вузлів-наступників». Виконання для вибраної кількості маршрутів M алгоритму визначення початкового завантаження підмережі (блок 9) дозволяє найкращим чином розподілити потік пакетів, тим самим мінімізуючи $T_{тс}$ в даних умовах.

Блоки 5…11 реалізуються повторно аж до виконання обмежень блоку 4. В цьому випадку ухвалюється рішення про знаходження оптимальної множини ($S^{(i)}_{j\,опт}$), що містить M_{opt} маршрутів (блок 12).

При виконанні умови блоку 5, відповідного випадку знаходження в підмережі всіх $|\aleph_{баз}|$ можливих маршрутів, невиконання обмеження $T_{тс}(\aleph_{вб}) \leq T_{доп}$; (блок 4) обумовлює необхідність розширення множини $\aleph_{баз}$ шляхом його об'єднання з множиною маршрутів наступного рівня ієрархії відповідно до відомого [3] способу визначення множини шляхів передачі інформації в ТКМ (блоки 13, 14).

Відмітимо, що використання процедури знаходження оптимальної множини $S^{(i)}_{j\,опт}$ маршрутів (рис. 3), практично заснованої на методі прямого перебору, недоцільно для випадків M>>1. У цих умовах, характерних для «багатозв'язкових» локальних і глобальних ТКМ, мінімізація часу «збіжності» процедури вимагає застосування інших методів, основними з яких є [2, 5, 6]:

– прямі неспеціальні методи пошуку екстремуму;

– методи нелінійного програмування;

– методи, засновані на використанні невизначених множників Лагранжа і та ін.

Висновки

Проведений аналіз свідчить про необхідність подальшого розвитку систем 3G у напрямі значного збільшення їх пропускної спроможності. При цьому як одна з головних умов вдосконалення систем висувається можливість забезпечення високої якості високошвидкісних послуг, що надаються, на основі застосування довершених алгоритмів, процедур і методів. Застосування методу знаходження оптимальної множини маршрутів в багатопролітній мережі системи зв'язку стандарту 3G дозволить збільшити ефективно використовувану пропускну спроможність при цьому не знижуючи якості послуг, що надаються.

Список літератури

1. *Величко В.В. Передача данных в сетях мобильной связи третьего поколения. – М.: Радио и связь, Горячая линия-Телеком, 2005. – 332 с.*

2. *Вишневський В.М. Теоретические основы проектирования компьютерных сетей. – М.: Техносфера, 2003. – 512 с.*

3. *Кириллов И.Г., Семенов С.Г. Комбинированный метод поиска множества путей передачи информации в телекоммуникационных сетях // Збірник наукових праць ХУ ПС – Х.: ХУ ПС, 2005. – Вип. 5(5). – С. 90-94.*

4. *Кириллов И.Г., Семенов С.Г. Математическая модель адаптивной маршрутизации цифровой информации о воздушной обстановке в телекоммуникационной сети перспективной АСУ авиации и ПВО // Системи обробки інформації. – Х.: ХУ ПС, 2007. – № 5(63). – С. 50-53.*

5. *Круглов В.В., Дли М.И. Интеллектуальные информационные системы: компьютерная поддержка систем нечеткой логики и нечеткого вывода. – М.: Физматлит, 2002. – 193 с.*

6. *Пантелеев А.В., Летова Т.А. Методы оптимизации в примерах и задачах. – М.: Высш. шк., 2002. – 544 с.*

7. *Vutukury S., Garcia-Luna-Aceves J. J. MDVA: A Distance-Vector Multipath Routing Protocol // Proc. IEEE INFOCOM. – Anchorage, 2001. – P. 557-564*

Надійшла до редколегії 17.12.2007

Рецензент: д-р техн. наук, проф. О.В. Лемешко, Харківський університет Повітряних сил ім.. І. Кожедуба, Харків.