

УДК 621.391

С.В. Дружинін, О.К. Климович, О.М. Захараш

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

## АНАЛІЗ СТРАТЕГІЙ ПРОЦЕДУРИ МАРШРУТИЗАЦІЇ В ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЙНІЙ МЕРЕЖІ ВІЙСЬКОВОГО ПРИЗНАЧЕННЯ

*Проведений аналіз існуючих стратегій маршрутизації, які використовуються в сучасних телекомунікаційних мережах. Представлена класифікація методів маршрутизації, використання яких можливе в телекомунікаційних мережах військового призначення. Розглянуті аналітичні моделі для динамічної та квазі-статичної маршрутизації з метою використання їх згідно визначених стратегій процедур маршрутизації.*

**Ключові слова:** стратегія процедури маршрутизації, статична маршрутизація, адаптивна маршрутизація, телекомунікаційна мережа військового призначення.

### Вступ

Одним з найбільш важливих завдань в телекомунікаційній мережі військового призначення являється використання необхідної стратегії маршрутизації для мережевої архітектури. Ретельний аналіз функціонування мережі та потенційних можливостей її росту допоможе виявити проблеми та оптимальні шляхи їх вирішення.

Значну роль відіграє проблема виробу стратегії маршрутизації повідомлень для забезпечення нормованої якості обслуговування у телекомунікаційній мережі військового призначення. Першочергове значення у цьому процесі має вибір алгоритму маршрутизації, який визначає найбільш оптимальний шлях доведення пакетів інформації від відправника до одержувача. При цьому ефективність якості обслуговування у телекомунікаційній мережі військового призначення визначається здатністю протоколу маршрутизації (який використовується) знаходити оптимальний шлях доставки пакетів даних з урахуванням ряду вимог нормованої якості обслуговування. Незважаючи на це, завдання маршрутизації не піддаються точному аналізу й вирішуються наближеними методами. Дане твердження пояснюється значною складністю завдань маршрутизації й недостатньо розвиненим математичним апаратом.

### Основний матеріал

Найбільша ефективність у процесі функціонування телекомунікаційної мережі військового призначення досягається при використанні адаптивних методів маршрутизації. Такі методи вимагають більших витрат і мережевих ресурсів у порівнянні зі статичними методами (рис. 1) [1 – 7]. У той же час у різних умовах функціонування мережі реалізація адаптивної маршрутизації може виявитися неефективною, наприклад, при зниженні динаміки надходження зовнішнього навантаження. У таких випад-

ках доцільно переходити на статичний план розподілу користувальницьких пакетів. Така оптимізація процесів маршрутизації вимагає обліку в рамках математичної моделі можливості статичної й адаптивної маршрутизації на кожному і маршрутизаторі доцільно мати відносно постійну статичну маршрутну таблицю  $M_i^{st} = \|s_{i,j}^j\|$  й динамічну маршрутну таблицю  $M_i^d = \|\hat{x}_{i,j}^j(k)\|$ , яка періодично оновлюється, де  $s_{i,l}^j$  і  $\hat{x}_{i,l}^j(k)$  – частки пропускної здатності тракту  $(N_i, N_l)$ , які виділяються трафіку з адресою  $N_j$  в момент часу  $t_k$ . Надалі ці величини трактуються як статичні й динамічні маршрутні змінні.

При цьому результуюча маршрутна таблиця  $M_i$  визначається як сумарна. Її складають статична та динамічна маршрутні таблиці  $M_i = M_i^{st} + M_i^d$ . Адекватний опис функціональної моделі телекомунікаційної мережі військового призначення можливий за допомогою відповідних моделей, які побудовані з використанням апарату диференціальних рівнянь або різниць рівнянь стану [8, 9].

Визначення оптимального маршруту з декількох можливих варіантів відбувається на основі наявної інформації про поточну конфігурацію мережі, а також залежно від різних показників або комбінацій показників. Виходячи з критерію оптимальності, розроблений ряд алгоритмів пошуку оптимальних маршрутів, а саме – алгоритм Дікстри, алгоритм Белмана-Форда, алгоритм Флойда, алгоритм Данціга [10] та інші.

Розглянемо питання щодо динамічної й статичної стратегії маршрутизації в телекомунікаційній мережі (ТКМ). Проблема використання ефективних процедур маршрутизації для швидкої доставки повідомлень до їх одержувача відіграє значну роль під

час проектування сучасних телекомунікаційних мереж військового призначення. Мета даного напрямку дослідження полягає у розгляді та визначенні можливості використання ряду аналітичних моделей для різних типів стратегій маршрутизації. Для цього ми класифікуємо процедури маршрутизації відповідно до статичних і динамічних стратегій. У статичній ситуації враховуємо частки трафіку у вузлі  $N_i$  мережі. Такий вузол призначений для кожного з

інших вузлів  $N_j \neq N_i$  та спрямований по каналах (лініям) зв'язку від вузла  $N_i$  (частки трафіку визначені перш, ніж мережа починає працювати). Частки трафіку фіксуються у часі й залежать тільки від часу й середнього числа вимог до потоку повідомлень у мережі. Інша ситуація стосується повністю динамічної стратегії, що передбачає безперервну зміну напрямків зв'язку.



Рис. 1. Класифікація методів маршрутизації

Статична процедура маршрутизації відносно проста при реалізації, але з іншого боку, якщо в каналах зв'язку або у вузлах мережі створюється перевантаження, то повідомлення, які передаються по них, будуть повністю блоковані. Динамічна процедура справляється з перевантаженням і проблемами відмови, але разом з цим це потребує більшої кількості накладних витрат для адресації повідомлень,

перебудови таблиць маршрутизації й та ін.

Враховуючи переваги й недоліки процедур маршрутизації, необхідно (у практичних ситуаціях) сформулювати стратегії, які можуть мати деякі з бажаних переваг обох процедур. Можливість у використанні квазістатичної процедури маршрутизації, у якій зміни напрямків зв'язку будуть тільки в даних інтервалах часу й (або) шораз, коли відбува-

ються надзвичайні ситуації у телекомунікаційній мережі військового призначення. При зростанні трафіку та затримок у необхідній секції мережі процедура маршрутизації буде також змінюватися зі статичної стратегії на динамічну і навпаки.

У даній ТКМ звичайний підхід полягає в тому, щоб розглядати кожне повідомлення або пакет як окрему посилку інформації. Завдання полягає в усвідомленні того, що будь-який окремий пакет вносить незначний вклад до роботи мережі. Має сенс розглядати мережу на макроскопічному рівні, і це є однією з головних особливостей моделі, яка описана нижче.

Розглянемо ТМК, яка складається з  $N$  вузлів. Безліч  $v$  (довжина шляху) є напрямком зв'язку мережі (всі канали зв'язку прийняті односпрямованими). Безліч  $v$  є довжиною шляху від джерела  $N_i$  до адресата  $N_k$ ,  $(N_i, N_k \in N)$ , і для кожного  $N_i \in N$ , позначимо  $N_{ik}$  як кількість вузлів, що виходить від вузла  $N_k$ , де  $(N_i, N_k) \in v$ , а  $N_{li}$  як кількість вузлів, що виходить від вузла  $N_l$ , де  $(N_l, N_i) \in v$ .

Припустимо, що в кожному вузлі  $N_i \in N$  ми маємо  $N-1$  станів, при яких у кожний момент часу  $t$  зберігаються повідомлення (пакети), призначені для вузлів  $1, 2, \dots, (i-1), (i+1), \dots, N$  відповідно. Кількість повідомлень кожного типу в будь-який час  $t$  вимірюється в деяких довільних одиницях, але ми припускаємо, що ці одиниці відповідають певній нормалізації, зміст станів може бути наближений безперервній змінній, котра називається «кількістю трафіку». Позначимо  $x_i^j(t)$  – сума трафіку у вузлі  $N_i$  під час  $t$ , призначення якого – вузол  $N_j$ , де  $N_i, N_k \in N, N_j \neq N_i$ ;  $r_i^j(t)$  – миттєва норма (частина) трафіку, яка призначена вузлу  $N_j$  і надходить від вузла  $N_i$  за певний проміжок часу  $t$ ;  $c_{ik}$  – пропускна здатність лінії (напрямку) зв'язку  $(N_i, N_k)$  в одиницях трафіку (одиницях часу), де  $(N_i, N_k) \in v$ .

Розглянемо деякі питання, щодо динамічної стратегії маршрутизації в телекомунікаційній мережі. Представимо величину  $\hat{x}_{i,j}^j(t)$ , як частину пропускної здатності каналу зв'язку  $(N_i, N_k)$ . Вона використовується під час  $t$  для трафіку, який призначений вузлу  $N_j$ . Тоді значення зміни ємності кожного стану можна представити у вигляді

$$x_i^j(t) = r_i^j(t) - \sum_{k \in N_{ik}} \hat{x}_{i,k}^j(t) + \sum_{\substack{l \in N_{lk} \\ l \neq j}} \hat{x}_{l,i}^j(t), \quad (1)$$

де  $N_i, N_j \in N, N_j \neq N_i$ .

Задамо позитивні обмеження у вигляді:

$$x_i^j(t) \geq 0; \quad \hat{x}_{ik}^j(t) \geq 0. \quad (2)$$

Обмеження по пропускній здатності будуть мати наступний вигляд:

$$\sum_{i \neq j} \hat{x}_{i,k}^j(t) \leq c_{i,k}, \quad (N_i, N_k) \in v, \quad N_j \in N. \quad (3)$$

В інших інтерпретаціях даної аналітичної моделі може бути представлена більша кількість обмежень (наприклад, при розгляді потужності буферів). Розглянемо деякі питання, щодо статичної стратегії маршрутизації в телекомунікаційній мережі. У більшості телекомунікаційних мережах військового призначення бажано використовувати квазістатичну процедуру, відповідно до якої частина трафіку, який відсилається вузлом до кожного призначення по лінії зв'язку, буде постійною щодо тривалого періоду часу. У певний момент часу при виникненні потреби шляхи передачі інформації можуть бути змінені для поліпшення продуктивності мережі, що характеризується значенням середнього часу затримки.

Величина  $D_{ik}(f_{ik})$  є затримкою повідомлень у каналі зв'язку  $(N_i, N_k)$  за певний проміжок часу. Припускаємо, що для кожної лінії зв'язку затримка  $D_{ik}$  – функція загального потоку  $f_{ik}$ , що проходить через ці канали зв'язку. Тоді повна затримка в мережі описується залежністю:

$$D_t = \sum_{(N_i, N_k) \in v} D_{ik}(f_{ik}). \quad (4)$$

Якщо через лінію зв'язку протікають різні види трафіку, то затримка представляється у вигляді функцій індивідуальних швидкостей.

Розглянемо динамічне поведіння мережі згідно квазістатичної процедури. При динамічній зміні вхідних швидкостей маємо позитивний ефект працездатності мережі. До розгляду пропонується динамічна модель квазістатичної маршрутизації телекомунікаційної мережі. Щоб одержати динамічну модель для квазістатичної маршрутизації, розглянемо мережу, яка працює в режимі, який встановлений в номінальній точці, і позначимо  $F_i^j$  – повний обсяг трафіку, який призначений для вузла  $N_j$  від вузла  $N_i$ ;  $\phi_{ik}^j$  – частка трафіку  $F_i^j$ , який відправлений по каналу зв'язку  $(N_i, N_k)$ ;  $f_{ik}^j$  – обсяг трафіку, який призначений для вузла  $N_j$  по лінії зв'язку  $(N_i, N_k)$ ;  $r_i^j$  – вхідний потік у вузлі  $N_i$  трафіку, який призначений для вузла  $N_j$ .

Рівновага трафіку задається номінальними величинами

$$\begin{aligned} \overline{f_{ik}^j} &= \overline{\phi_{ik}^j} \times \overline{F_i^j}, \quad \overline{F_i^j} = \sum_{k \in N_{\bar{i}}, i \neq j} \overline{f_{ik}^j} + \\ + \overline{r_i^j} &= \sum_{i \in N_{\bar{i}}, l \neq j} \overline{\phi_{il}^j} \overline{F_i^j} + \overline{r_i^j}, \quad \sum_{k \in N_{\bar{i}}, l \neq j} \overline{\phi_{ik}^j} = 1. \end{aligned} \quad (5)$$

Опишемо незначні динамічні зміни трафіку  $\Delta F_i^j$  навколо цих номінальних величин. Час, який узятий для зміни маршрутизації в деякому вузлі, буде взаємозалежний із прилягаючими вузлами мережі. Передбачається також те, що зміна у вхідних швидкостях відчувається негайно у вузлі джерел. Динамічне поведіння мережі описане такими рівнями:

$$\begin{aligned} \Delta F_i^j(t+1) &= \\ = \sum_{i \in N_{\bar{i}}, i \neq j} \overline{\phi_{il}^j} \Delta F_i^j(t) + \sum_{i \in N_{\bar{i}}, i \neq j} \overline{F_i^j} \Delta \overline{\phi_{il}^j}(t) + \Delta r_i^j(t+1); & (6) \\ \sum_{k \in N_{\bar{i}}} \Delta \overline{\phi_{ik}^j}(t) &= 0. \end{aligned}$$

Ситуація в мережі (6) описана набором потоків у вузлах, для зміни величини  $\Delta F_i^j(t)$  описується станами, тобто частиною трафіку кожної вихідної лінії зв'язку і визначаються кількісною оцінкою управління мережею. Зміни величини  $\Delta \overline{\phi_{ik}^j}(t)$  визначаються кількісною оцінкою засобами управління, а стохастичні зміни величини  $\Delta r_i^j(t)$  на входах описують «шум».

### Висновок

У даному напрямку досліджень були представлені моделі для динамічної й квазістатичної маршрутизації. Ці моделі мають особливість у тому, що вони не вимагають явних виразів для кількісної (процентної) оцінки, а призначені для використання в алгоритмічній формі.

### АНАЛИЗ СТРАТЕГИЙ ПРОЦЕДУРЫ МАРШРУТИЗАЦИИ В ТЕЛЕКОМУНИКАЦИОННОЙ СЕТИ ВОЕННОГО ПРЕДНАЗНАЧЕНИЯ

С.В. Дружинин, О.К. Климович, О.М. Захараш

*Проведен анализ существующих стратегий маршрутизации, которые используются в современных телекоммуникационных сетях. Представлена классификация методов маршрутизации, использование которых возможно в телекоммуникационных сетях военного назначения. Рассмотрены аналитические модели для динамической и квазистатической маршрутизации с целью использования их согласно определенных стратегий процедур маршрутизации.*

**Ключевые слова:** стратегия процедуры маршрутизации, статичная маршрутизация, адаптивная маршрутизация, телекоммуникационная сеть военного назначения.

### THE ANALYSIS OF THE STRATEGIES ON THE ROUTING PROCEDURE IN A MILITARY TELECOMMUNICATION NETWORK

S.V. Druzhynin, O.K. Klimovich, O.M. Zaharash

*The article is devoted to the conducted analysis of existed strategies of routing, which are used in modern telecommunication networks. It also gives the classification of routing methods, which are possible to use in military telecommunication networks. The authors consider the analytical models for the dynamic and quazistatic routing in order to use them according to the determined strategies or routing procedures.*

**Key words:** the strategy of routing procedure, static routing, adaptive routing, military telecommunication network.

### Список літератури

1. Олифер В.Г. Компьютерные сети. Принципы, технологии, протоколы: учебник для вузов / В.Г. Олифер, Н.А. Олифер. – 3-е изд. – СПб.: Питер, 2006. – 958 с.
2. Хабракен Д. Как работать с маршрутизаторами Cisco / Д. Хабракен. – М.: ДМК Пресс, 2005. – 320 с.
3. Амато В. Основы организации сетей Cisco / В. Амато. – М.: Изд. дом «Вильямс», 2004. – 512 с.
4. Королев А.В. Управление сетевыми ресурсами / А.В. Королев, Г.А. Кучук, А.А. Пашнев. – Х.: ХВУ, 2004. – 272 с.
5. Комп'ютерні мережі. Технології, протоколи та моделювання: навч. посіб. / Ю.В. Стасєв, І.В. Рубан, С.В. Дуденко, Д.В. Сумцов, О.І. Тимочко. – Х.: ХУПС, 2005. – 359 с.
6. Хелеби С. Принципы маршрутизации в Internet / С. Хелеби, Д. Мак-Ферсон. – 2-е изд. – М.: Изд. дом «Вильямс», 2001. – 448 с.
7. Леинванд А. Конфигурирование маршрутизаторов Cisco / А. Леинванд, Б. Пински. – 2-е изд. – М.: Изд. дом «Вильямс», 2001. – 368 с.
8. Нюнькина Ю.П. Игровая маршрутизация трафика в сети передачи данных, классический и квантовый подходы / Ю.П. Нюнькина, А.В. Скاتков // Радиоэлектронні і комп'ютерні системи. – 2006. – № 7 (19). – С. 185-190.
9. Кривошеев С.А. Модель гибридной маршрутизации в сетях с коммутацией пакетов / С.А. Кривошеев, О.К. Климович, В.Ю. Скуйбіда // Збірник наукових праць ВІТІ НТУУ «КПІ». – 2004. – № 4. – С. 95-101.
10. Дружинин С.В. Анализ протоколов маршрутизации в информационно-телекоммуникационной сети автоматизированной системы управления специального назначения / С.В. Дружинин, О.К. Климович // Системы обработки информации: зб. наук. пр. – Х.: ХУПС, 2006. – Вып. 5 (11). – С. 85-88.

Надійшла до редколегії 16.11.2009

**Рецензент:** к-т техн. наук, проф. Д.І. Могилевич, Військовий інститут телекомунікацій та інформатизації Національного технічного університету України «КПІ», Київ.