

УДК 621.372

Г.Я. Криховецький¹, С.М. Нечаусов²

¹ Інститут спеціального зв'язку та захисту інформації НТУУ «КПІ», Київ

² Національний аерокосмічний університет ім. М.Є. Жуковського «ХАІ», Харків

МЕТОД ВИБОРУ ТОПОЛОГІЇ МІЖВУЗЛОВОГО ЗВ'ЯЗКУ РОЗПОДІЛЕНОЇ МЕРЕЖІ ПЕРЕДАЧІ ДАНИХ

Розглянуто підхід до оптимального синтезу магістральної частини мережі обміну даними шляхом вибору пропускних спроможностей ліній зв'язку, що забезпечують мінімальний середній час затримки. Даний підхід принципово відрізняється від традиційних, тому що не вимагає завдання функції вартості на етапі оптимізації та не залежить від вибору методу маршрутизації.

Ключові слова: топологія, розподілена мережа передачі даних, середній час затримки, зв'язок.

Вступ

Інформаційно-телекомунікаційна мережа (ІТМ) є складним багатовимірним об'єктом, що містить велику кількість різноманітного устаткування (робочі станції,

сервери, структуротворна апаратура і так далі), яке вимагає відповідних налаштувань, що визначають якість роботи мережі [1]. Крім того, при управлінні роботою мережі необхідно враховувати, що мережа призначена для вирішення прикладних завдань (виконань додат-

ків), кожна з яких повинна відповідати певним вимогам до якості отримуваних результатів. Забезпечення виконання комплексних вимог до якості вирішення прикладних завдань є однією з основних цілей управління роботою мережі. При цьому основна мета управління містить ряд приватних цілей, кожна з яких може бути пов'язана з певним прикладним завданням. Проте, при русі до вказаної мети, виникає цілий ряд задач, обумовлених специфікою роботи ІТМ і прикладного програмного забезпечення. Однією з таких задач є вибір топології міжвузлового зв'язку розподіленої мережі передачі даних [2, 3].

Аналіз літературних джерел показав, що на сьогодні існує велике різноманіття відповідних методів [1 – 7], але всі вони орієнтовані на обраний метод маршрутизації та потребують попереднього завдання функції вартості.

Тому **метою даної статті** є розробка методу вибору топології міжвузлового зв'язку розподіленої мережі передачі даних, незалежного від функції вартості та протоколу маршрутизації.

Постановка завдання

Завдання вибору топології міжвузлового зв'язку розподіленої мережі передачі даних формулюється таким чином [1]. Є k абонентів Q_1, \dots, Q_k , місця розташування яких задані географічними координатами. Абоненти повинні обмінюватися інформацією відповідно до матриці тяжіння $\Lambda = \|\lambda_{v,w}\|$ розміром $k \times k$, де $\lambda_{v,w}$ – планований об'єм інформації, що передається від абонента Q_v до абонента Q_w за одиницю часу. Передбачається, що абоненти повинні підключатися до найближчого вузла комутації (ВК). Матриця тяжіння між абонентами перераховується в матрицю тяжіння між ВК $\Lambda = \|\lambda_{ij}\|$ (λ_{ij} – інтенсивність потоку повідомлень між ВК A_i і A_j , причому $|\lambda_{ij}| = |\lambda_{ji}|$). Топологія міжвузлового зв'язку не визначена. Далі задається вартісна функція $C(v,l)$ у вигляді явної функції пропускної спроможності гілок V_{ij} і їх довжини l та j [2]. Необхідно для кожної пари ВК A_i і A_j вибрати пропускну спроможність V_{ij} таким чином, щоб лінійна вартість всієї мережі $\sum_{i,j} C_{ij}$ була мінімальною за умови, що середня затримка пакету на перевищувала задане значення [3]: $T_{\text{сер}} \leq T_{\text{зад}}$.

Проте, оскільки топологія мережі невідома, то будь-яка вибрана форма функції вартості не може відображати дійсну вартість мережі. При оптимізації пропускних спроможностей часто користуються другою постановкою завдання: при фіксованій вартості мережі $C(v,l) \leq C_{\text{зад}}$ мінімізується середній час затримки $T_{\text{сер}} \rightarrow \min$, яка, втім, приводить до аналогічних результатів. Потік по кожній лінії (i,j) $F_{ij} = L_i \lambda_j$, де L – довжина пакету.

Результати досліджень

Для отримання функціоналу оптимізації більшість авторів [1–3] виходять з моделі мережі у вигляді системи масового обслуговування, що заснована на клейнроківській апроксимації

$$T_{\text{сер}} = \frac{1}{\gamma} \sum_{(i,j)} \frac{F_{ij}}{V_{ij} - F_{ij}} \rightarrow \min, \quad i < j, \quad (1)$$

де γ – загальний трафік мережі.

Функція (1) є опуклою, але не містить екстремумів по змінним F_{ij} і V_{ij} , тому задача оптимізації цієї функції може бути тільки умовною, при цьому вибір обмеження у вигляді функції вартості не позбавлений перерахованих вище недоліків. Пропонуємо процедуру оптимізації пропускних спроможностей припускає використовувати в якості функціоналу оптимізації середній час затримки (1) при обмеженнях у вигляді існуючих лінійних функцій закону збереження потоку в кожному вузлі мережі

$$\sum_{i=1}^n F_{ij} = aF_j^0, \quad i \neq j, \quad (2)$$

де $F_{ij} = -F_{ji}$, F_j^0 – початковий потік вузла j , коефіцієнт $a = 1$ для вузла-джерела, $a = -1$ для вузла-отримувача, у інших випадках $a = 0$.

Така постановка є задачею умовної оптимізації і може бути вирішена методом невизначених множників Лагранжа. Функціонал оптимізації представимо в наступному вигляді відповідно до (1) і (2):

$$\Phi = \Phi_1 + \Phi_2 = \frac{1}{\gamma} \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n \frac{F_{ij}}{V_{ij} - F_{ij}} + \sum_{i=1}^n P_i \sum_{j=1}^n F_{ij} + aF_j^0, \quad (3)$$

де P_i – невизначені множники Лагранжа.

Оскільки закон збереження потоку має місце для всіх без виключення n вузлів мережі, то завжди для одного з вузлів сума потоків є лінійною комбінацією потоків решти вузлів. В зв'язку з цим у виразі (3) для Φ_1 індекс i змінюється від 1 до $n-1$. Проте, для отримання симетричного рішення $i = \overline{1, n}$. Врахування даної обставини буде виконано після рішення задачі оптимізації шляхом завдання $P_n = 0$.

Задача вирішується в два етапи. На першому етапі знаходяться оптимальні значення потоків $F_{ij}^{\text{опт}}$, що забезпечують мінімум функціонала (3), обчислюючи часткові похідні, $d\Phi/dF_{ij} = 0$.

Диференціювання по всьому набору значень $i, j = \overline{1, n}$ припускає, таким чином, початкову структуру мережі повнозв'язною та приводить до системи рівнянь вигляду

$$\frac{1}{\gamma} \frac{V_{kl}}{(V_{kl} - F_{kl})^2} + (P_k - P_l) = 0, \quad k, l = \overline{1, n}, \quad k < l, \quad (4)$$

Кількість цих рівнянь для повнозв'язної мережі визначається кількістю гілок графа мережі і дорівнює $m = n(n - 1) / 2$.

Знаходимо оптимальне значення потоку в кожній гілці, виходячи з рівнянь (4):

$$F_{kl} = V_{kl} - \sqrt{V_{kl} / (\gamma(P_l - P_k))}. \quad (5)$$

Невизначені множники Лагранжа P_l і P_k знаходяться шляхом підстановки рівнянь (5) в обмеження (2):

$$\sum_{k=1}^n \left(V_{kl} - \sqrt{V_{kl} / (\gamma(P_l - P_k))} \right) = aF_l, \quad l = \overline{1, n-1}. \quad (6)$$

Знаходження дійсних значень P_l^* і P_k^* дозволяє визначити оптимальні значення потоків F_{kl}^{opt} у кожній віртуальній гілці повнозв'язної мережі:

$$F_{kl}^{opt} = V_{kl} - \sqrt{V_{kl} / (\gamma(P_l^* - P_k^*))}. \quad (7)$$

Перетворимо вираз (7) до вигляду, зручнішого для інтерпретації:

$$F_{kl}^{opt} = V_{kl} - d_{kl} \sqrt{V_{kl}}, \quad (8)$$

де $d_{kl} = 1 / \sqrt{\gamma(P_l^* - P_k^*)}$.

Таким чином, оптимальний потік, що проходить в кожній гілці, повинен бути менше її пропускної спроможності на величину, пропорційну кореню квадратному з пропускної спроможності цієї гілки, що є необхідною умовою виключення блокування мережі. Знання величини d_{kl} дозволяє обчислити значення цього перевищення, що забезпечує мінімум середнього часу затримки

$$T_{cp}^{min} = \sum_{(k,l)} (\sqrt{V_{kl}} / d_{kl} - 1) / \gamma. \quad (9)$$

На другому етапі здійснюється заміна значень F_{kl}^{opt} відповідними значеннями потоків, заданих матрицею тяжінь у виразах (8):

$$L\lambda_{kl} = V_{kl} - d_{kl} \sqrt{V_{kl}}, \quad (10)$$

надалі варіюванням значеннями пропускних спроможностей гілок зв'язку можна знайти варіант поєднання координат точки мінімуму виразу (9) в просторі оптимальних рішень з координатами простору тяжінь. Вирішуючи рівняння (9) відносно V_{kl} , отримуємо

$$V_{kl} = \left(d_{kl} \pm \sqrt{d_{kl}^2 + 4L\lambda_{kl}} \right)^2 / 4. \quad (11)$$

Аналіз виразу (11) показує, що значення пропускних спроможностей V_{kl} є оптимальними, вони дають мінімальний середній час затримки без урахування вартості мережі, яка може бути оцінена на цьому етапі синтезу по одній з найбільш зручних для умов завдання функції вартості, наприклад, [2]

$$C = k \sum_{(k,l)} V_{kl} \leq C_{зад}. \quad (12)$$

Якщо вартість мережі перевищить $C_{зад}$, то необхідно змінити топологію мережі, застосувавши, наприклад, метод виключення гілок.

Висновок

В статті запропонований метод вибору топології міжвузлового зв'язку розподіленої мережі передачі даних, незалежний від функції вартості та протоколу маршрутизації на етапі оптимізації, що принципово відрізняється від традиційних методів рішення даної задачі та скорочує розмірність задачі. На другому етапі оцінку вартості мережі можна здійснити за будь-якою вартісною функцією. Напрям подальших досліджень – розробка алгоритму реалізації запропонованого методу.

Список літератури

1. Олифер В.Г., Олифер Н.А. Компьютерные сети. Принципы, технологии, протоколы: Учебник для вузов. 3-е изд. – СПб.: Питер, 2006. – 958 с.
2. Таненбаум Э.С. Компьютерные сети. 5-е изд. / Э.С. Таненбаум, Д. Уэзеролл. – СПб.: Питер, 2012. – 960 с.
3. Коначович Г.Ф. Сети передачи пакетных данных / Г.Ф. Коначович, В.М. Чуприн. – К.: МК-Пресс, 2006. – 272 с.
4. Кучук Г.А. Управление ресурсами инфотелекоммуникаций / Г.А. Кучук, Р.П. Гахов, А.А. Пашнев. – М.: Физматлит, 2006. – 220 с.
5. Кучук Г.А. Розрахунок навантаження мультисервісної мережі / Г.А. Кучук, Я.Ю. Стасєва, О.О. Болюбаш // Системи озброєння і військова техніка. – 2006. – № 4 (8). – С. 130 – 134.
6. Кучук Г.А. Распределение каналов по трактам узла коммутации при адаптивной маршрутизации / Г.А. Кучук // Вестник НТУ «ХПИ». – Х.: НТУ «ХПИ», 2003. – № 26. – С. 167 – 172.
7. Кучук Г.А. Інформаційні технології управління інтегральними потоками даних в інформаційно-телекомунікаційних мережах систем критичного призначення / Г.А. Кучук. – Х. ТОВ «Щедра садиба плюс», 2013. – 264 с.

Надійшла до редколегії 29.09.2014

Рецензент: д-р техн. наук, проф. І.В. Рубан, Харківський університет Повітряних Сил імені І. Кожедуба, Харків.

МЕТОД ВЫБОРА ТОПОЛОГИИ МЕЖУЗЛОВОЙ СВЯЗИ РАСПРЕДЕЛЕННОЙ СЕТИ ПЕРЕДАЧИ ДАННЫХ

Г.Я. Крыховецкий, С.Н. Нечаусов

Рассмотрен подход к оптимальному синтезу магистральной части сети обмена данными путем выбора пропускных способностей линий связи, которые обеспечивают минимальное среднее время задержки. Данный подход принципиально отличается от традиционных, так как не требует задания функции стоимости на этапе оптимизации и не зависит от выбора метода маршрутизации.

Ключевые слова: топология, распределенная сеть передачи данных, среднее время задержки, связь.

**METHOD OF CONNECTION TOPOLOGY CHOICE
OF THE TELECOMMUNICATIONS UP-DIFFUSED NETWORK**

G.Ya. Krykhoveckiy, S.M. Nechausov

Going near the optimum synthesis of main part of network of exchange is considered by information by the choice of carrying capacities of lines connections which provide minimum mean time of delay. This approach on principle differs from traditional, because does not require a task the function of cost on the stage of optimization and does not depend on the choice of method of routing.

Keywords: *topology, up-diffused network of telecommunications, mean time of delay, connection.*