

УДК 621.396

М. М. Фомін, Д. І. Могилевич, О. І. Садиков

ОСНОВНІ КРИТЕРІЇ ОЦІНЮВАННЯ СТРУКТУРИ МЕРЕЖ ЗВ'ЯЗКУ

У статті проведений аналіз основних критеріїв, які необхідно враховувати у проектуванні цифрових мереж зв'язку. Розглянуті можливість застосування різних критеріїв під час оцінювання структури мережі зв'язку та їх вибір при проектуванні.

К л ю ч о в і с л о в а: структура (топологія) мережі, вартість, надійність, якість обслуговування.

Постановка проблеми. Для оцінювання телекомунікаційних мереж існують моделі, які враховують умови і критерії, що впливають на структуру телекомунікаційної мережі, але такі моделі не завжди дозволяють визначити достовірну оцінку. Незважаючи на актуальність цього питання, на сьогоднішній день не створені засоби проектування й аналізу структури телекомунікаційних мереж. Однією з основних задач лишається розроблення комплексних математичних моделей мереж, які б дозволили зв'язати економічні і структурні характеристики мережі з характеристиками процесу доставки повідомлень.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. В останні роки зросла кількість системних розробок, мета яких полягає у визначенні раціональної (оптимальної) структури мережі зв'язку. Виникла необхідність у налагодженні комплексу технічних засобів, алгоритмів функціонування, програмного забезпечення мереж зв'язку на високому науково-технічному рівні. Досвід показує, що вирішення цих складних задач за допомогою інтуїції або шляхом простих розрахунків потрібного результату не дає. За такого підходу на завершальному етапі проектування зазвичай витрачається багато засобів і часу на перероблення, доопрацювання, налагодження та виконання інших зайвих операцій. У зв'язку з цим постає питання аналізу і розгляду критеріїв, які необхідно враховувати у оцінюванні структури мережі зв'язку.

Мережа зв'язку є багатопараметричною системою. Складність постановки та вирішення задачі раціонального (оптимального) проектування мережі обумовили розроблення математичних моделей, кожна з яких дозволяє вирішити яку-небудь окрему задачу за вибраним критерієм.

На сьогоднішній день маємо низку наукових праць, присвячених теоретичним дослідженням телекомунікаційних систем і мереж. Так, у публікаціях [1, 2] зосереджена увага на таких задачах: вибір пропускних спроможностей каналів мережі, потоків у каналах та структури мережі. При цьому використовуються скалярна оптимізація і припущення (абсолютна надійність використаної техніки зв'язку, вартість тільки лінійного і комутаційного обладнання та ін.), які незручні з погляду користувача (споживача) мережі через те, що не визначають витрати на експлуатацію мережі.

При проектуванні мережі, як і при проектуванні окремих видів техніки, необхідно враховувати витрати користувача на експлуатацію мережі протягом її життєвого циклу. Отже, необхідно враховувати надійність засобів зв'язку, які експлуатуватимуть у мережі, тому що від надійності залежать не тільки витрати користувача на технічне обслуговування і управління мережею, а і ймовірно-часові характеристики доставки повідомлень. Нарешті, користувача, як правило, цікавить найбільш раціональний проект мережі за реальної вартості засобів зв'язку.

Наразі спостерігаються загальні тенденції розвитку мереж зв'язку: перехід до цифрових мереж зв'язку та інтеграція мереж з різними видами інформації і методами комутації. Об'єднання цих напрямків зумовило появу цифрових мереж зв'язку які мають низку особливостей, що визначають їх перспективність [3–5].

На вибір метода комутації для цифрових мереж зв'язку впливають критерії і фактори, серед яких одними із найголовніших є склад вхідного трафіка та вимоги до його обслуговування і вартості.

Мета статті – аналіз основних критеріїв оцінювання структури мережі зв'язку для рішення задач обслуговування користувачів з необхідною якістю (умова мінімізації вартості) [6, 7].

Виклад основного матеріалу. Основними критеріями при оцінюванні структури зв'язку зазвичай є:

- а) вартість мережі;
- б) час затримки при передаванні повідомлень в мережі зв'язку (або час відповіді) для мереж з комутацією пакетів і комутацією повідомлень та ймовірність втрат для мереж з комутацією каналів;
- в) надійність мереж або вплив на мережу відмов її компонентів.

Вартість мережі є одним із основних показників через те, що вона значною мірою визначає обґрунтованість впровадження і експлуатації мереж зв'язку. В більшості моделей припускається, що всі компоненти мережі, крім вартості ліній зв'язку, лишаються постійними. Отже, для проектування вартість мережі можна представити у вигляді такої формули:

$$D = \sum_{(l,t) \in A} d_{lt}(C_{lt}), \quad (1)$$

де $d_{lt}(C_{lt})$ – функція вартості лінії (l,t) , включеної у дану топологію мережі при організації в лінії (l,t) тракту передавання даних з пропускнуою спроможністю C_{lt} .

Вигляд функції $d_{lt}(\bullet)$ визначає конкретні вимоги проектування (задані тарифи, географія мереж та ін.). У загальному випадку функції $d_{lt}(\bullet)$ є дискретними неспадними функціями від пропускнуої спроможності C_{lt} і довжини l_{lt} лінії (l,t) .

Аналітичні методи покращення топології повинні обов'язково передбачати аналітичну апроксимацію вартості $d_{lt}(C_{lt})$ безперервними функціями.

Результатом аналізу емпіричних залежностей вартості ліній зв'язку від пропускнуої спроможності є загальний вираз для апроксимації функції вартості:

$$d_{lt}(C_{lt}) = a_{lt} C_{lt}^{\alpha}, \quad (2)$$

де у коефіцієнт a_{lt} входять всі інші фактори, що впливають на вартість тракту передачі, крім його пропускнуої спроможності [4].

При використанні ліній провайдерів великого значення набуває залежність вартості оренди лінії зв'язку від відстані. Виразити цю залежність аналітично нелегко – функція вартості оренди лінії $W(l)$ від відстані l зазвичай є нелінійною дискретною функцією, причому зі збільшенням відстані оренда одиниці довжини лінії зменшується. Дослідження існуючих тарифів показує, що гарну збіжність аналітичних оцінок можна отримати, використовуючи апроксимацію вигляду

$$W(l) = C\sqrt{l}, \quad (3)$$

де C – константа.

Часто використовують таку функцію:

$$(a l_{lt} + b)W(l_{lt}), \quad (4)$$

де $W(l_{lt})$ – визначається за формулою (3); a і b – константи.

Відомо, що в алгоритмічних методах пошуку рішень достатньо мати таблиці значень функцій $d_{lt}(C_{lt})$ або $W(l)$.

На додаток відзначимо, що вельми важливим показником мережі є так звана зведена вартість мережі H_D , що визначається як співвідношення вартості мережі за певний період функціонування до сумарного обсягу трафіка, що пропускається через мережу за той самий час:

$$H_D = \frac{D}{\gamma}, \quad (5)$$

де D – вартість мережі, γ – сумарний обсяг трафіка, пропущеного за певний період функціонування.

Проте застосування критерію H_D на етапі проектування вельми обмежене, оскільки на нього суттєво впливають методи управління (управління потоком, маршрутизація та ін.) за умов функціонування мережі.

Аналогічний підхід до розрахунку середнього часу затримки повідомлень в мережах зазвичай засновується на таких припущеннях: повідомлення надходять незалежно, за пуассонівським законом, із середньою інтенсивністю γ_{lt} на пару вузлів l та t ; час обслуговування в лінії (l,t) дорівнює $1/\mu C_{lt}$, де μC_{lt} – інтенсивність обслуговування; буферна пам'ять на вузлах комутації не обмежена; елементи мережі абсолютно надійні і канали зв'язку не вносять спотворень при передаванні інформації; виконується “пропозиція про незалежність”, введена у працях [4, 5].

Середня затримка повідомлень в мережі у цьому випадку виражається формулою [3]

$$T = \frac{1}{\lambda} \sum_{(l,t) \in A} \frac{\lambda_{lt}}{\mu C_{lt}}, \quad (6)$$

де A – топологія мережі; λ_{lt} – потік (пакет/с) у лінії (l,t) ; $\gamma = \sum_{i,j=1}^N \gamma_{ij}$ – сумарний вхідний потік; N – кількість вузлів у мережі.

З урахуванням затримок, які виникають внаслідок передавання сигналів по лініях зв'язку і обробкою пакетів на вузлі зв'язку, та з урахуванням передавання службової інформації, може бути отримана більш точна оцінка затримки пакетів у мережі [1, 2].

Відзначимо, що якщо зроблене вище припущення не виконується, то аналітичне задання величини T значно ускладнюється. В загальному випадку на функцію $T(C, \Theta)$, що виступає як аналітичне представлення для часових затримок в мережі, де Θ – деякі параметри мережі, можна накласти єдине, фізично мотивоване обмеження:

$$T(C_i \theta) < T(C_j, \theta), \quad (7)$$

якщо $C_j < C_i$. Тоді припустимо, що всі необхідні умови їх застосування виконуються.

Обмеженість аналітичного підходу до розрахунків затримок повідомлень у мережі вельми ускладнює отримання на етапі проектування точної картини розподілу затримок у ній. Більш повна інформація може бути отримана шляхом моделювання мережі. Проте сучасні методи імітаційного моделювання потребують надмірних витрат часу для отримання показників з прийнятною похибкою моделювання в задачах великих розмірностей. Тому включення цих методів у процедури пошуку з переглядом дуже великого числа варіантів стає практично нереалізуємою задачею.

Структурну надійність мережі часто характеризують її зв'язністю k . Мережа називається k -зв'язною, якщо для кожної пари вузлів мережі існує щонайменше k шляхів, які не перетинаються (ланок ліній). Іншими словами, не менше k вузлів мережі та (або) ліній мережі мають відмовити (вийти з ладу), аби певна пара її вузлів була незв'язною.

Величина $\delta(m)$ позначає мінімальне число ліній мережі, відмова яких призводить до того, що будь які m вузлів мережі будуть не зв'язаними і залишатимуться частиною вузлів. Дана характеристика надійності уявляється більш загальною, ніж k -зв'язність, проте, перевага надається останній, яку обчислити (перевірити) значно легше.

Наведені показники надійності мережі не залежать безпосередньо від надійності (ймовірності відмови) окремих вузлів мережі, хоча деякі рекомендації можуть бути отримані моделюванням або експериментальним шляхом.

Можливість урахування реальної надійності елементів мережі в обчисленні основних критеріїв якості найбільш повно реалізована у працях, результати яких покладені в основу моделей, описаних у публікаціях [8–10].

Способи задання критеріїв оцінювання мережі багато в чому визначає підхід до формалізації і рішення задач оптимізації топології мережі. Іншим визначальним фактором є вибір вихідних вимог проектування мережі.

При постановці завдання зазвичай передбачається, що частина змінних проектування фіксована, зроблені певні припущення відносно загальних характеристик і принципів побудови мережі. Зовнішні фактори, що визначають постановку і виконання оптимізаційних завдань (вимоги користувачів, ресурси мережі, статистичні характеристики повідомлень, типи трафіка, коливання обсягу трафіка та ін.), визначені із задовільним ступенем точності.

Висновки

У результаті проведеного аналізу можна дійти висновку, що на цей час для більшості наукових і фінансових розробок надійність мережі виступає як обмеження для великої кількості допустимих структур мережі. Запропонований аналіз основних критеріїв оцінювання структури показав, що порівняння будь-яких рішень неможливе без безпосереднього визначення цих рішень та обчислення відповідних значень критеріїв. З математичної точки зору досліджувані задачі мають особливості, характерні для класу екстремальних пошукових задач взагалі [10]:

а) кількість допустимих рішень є настільки великою, що їх перебір не можливий, а рівноможливий випадковий вибір дозволяє отримати прийнятні рішення з надзвичайно малою ймовірністю;

б) порівняння будь-яких двох рішень не можливе без безпосереднього визначення цих рішень та обчислення відповідних значень критеріїв якості, тобто практично неможливо отримати інформацію про доцільний напрямок пошуку рішень при переході від поточного рішення до нового, свідомо кращого;

в) змінні в задачах є суттєво залежні, що також ускладнює процедуру переходу до нових рішень.

Таким чином, отримані результати варто враховувати і використовувати у проектуванні і побудові телекомунікаційних мереж спеціального призначення.

Список використаних джерел

1. Крылов, В. В. Теория телетрафика и ее приложения [Текст] / В. В. Крылов, С. С. Самохвалов. – С Пб. : БХВ-Петербург, 2005. – 288 с.
2. Теорія телетрафіка [Текст] : навч. посіб. / В. Я. Воропаєва, В. І. Бессараб, В. В. Турупалов, В. В. Червинський. – Донецьк : ДВНЗ “ДонНТУ”, 2011. – 202 с.
3. Вермишев, Ю. Х. Методы автоматического поиска решений при проектировании сложных технических систем [Текст] / Ю. Х. Вермишев. – М. : Радио и связь, 1982. – 152 с.
4. Гольдштейн, Б. С. Сети связи [Текст] / Б. С. Гольдштейн, Н. А. Соколов, Г. Г. Яновский. – С Пб. : “БХВ-Петербург”, 2010. – С. 371–378.
5. Антонов, А. В. Статистические модели в теории надежности [Текст] / А. В. Антонов, М. С. Никулин. – М. : Абрис, 2012.
6. Романов, А. И. Телекоммуникационные сети и управление [Текст] / А. И. Романов. – К. : ИПЦ “Киевский университет”, 2003. – 247 с.
7. Рябинин, И. А. Надежность и безопасность структурно-сложных систем [Текст] / И. А. Рябинин. – С Пб. : Изд-во С Пб ун-та, 2007. – 278 с.
8. Агаян, А. А. Исследование алгоритмов многокритериальной оптимизации топологии рассчитанных сетей [Текст] / А. А. Агаян. – М., 1982. – 70 с. – (Препринт / АН СССР. Ученый совет по комплексной проблеме “Кибернетика”).
9. Еремин, И. И. Двойственность в несобственном программировании. Кибернетика и системный анализ [Текст] / И. И. Еремин. – 1996. – С. 6, 13.
10. Креденцер, Б. П. Оценка эксплуатационно-технических характеристик объектов телекоммуникаций при априорной неопределенности [Текст] : монография / Б. П. Креденцер, Д. И. Могилевич, А. И. Минович. – К. : Феникс, 2012. – 332 с.

Стаття надійшла до редакції 28.11.2014 р.