

Богдан Юрійович Жураковський (д-р техн. наук, доцент)

Лариса Олексіївна Комарова (канд. фіз.-мат. наук, с.н.с.)

Олег Валентинович Копійка (канд. техн. наук, с.н.с.)

Державний університет телекомунікацій, Київ, Україна

РОЗРАХУНОК ПРОПУСКНОЇ ЗДАТНОСТІ ТА ТРАНЗИТНОЇ ЗАТРИМКИ ПРИ ПЕРЕДАЧІ ПО ЛІНІЯМ ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЙНИХ МЕРЕЖ

У даній статті запропонована інженерна методика визначення пропускної здатності лінії телекомунікаційної мережі. Запропоновано варіант інженерного синтезу телекомунікаційної мережі, який є комбінованим процесом сполучення математичних та евристичних методів. Інженерний синтез пропонується векторним і глобальним, тому що повинен завершуватися розробкою мережі, оптимальної з погляду її практичного застосування. Враховані усі суттєві для мережі показники якості включаючи економічні і конструктивні.

При інженерному синтезі не може бути такої ситуації, щоб суттєвим був тільки один показник якості: завжди буде щонайменше два суттєвих показники – вартість та показник, що характеризує основний ефект, що досягається при застосуванні мережі (ефективність). Якщо не буде врахований хоча б один із суттєвих для практичного застосування показників якості, мережа не може вважатися оптимальною. Синтез телекомунікаційної мережі звичайно складається з синтезу структури, оптимізації параметрів і дискретного вибору мережі. Якщо топологія мережі зберігається незмінною, можна сформулювати задачу оптимізації пропускної здатності лінії. Вирішення задачі з пропускною здатністю, яка безперервно змінюється може слугувати відправним моментом для вибору дискретного значення пропускної здатності.

Наведено співвідношення для повної вартості і характеристиками лінії, яке є лінійним. Виведено формулу середньої затримки для i -тої лінії, яка задається часом очікування в черзі. На основі середньої затримки розраховується подібне середнє значення для числа проходження даного пакету через деяку лінію під час його транзитних переміщень. Розраховано пропускні здатності, які мінімізують час затримки при постійній вартості лінії і знаходяться методом невизначених множників Лагранжа. Визначена пропускна здатність лінії по відношенню до передачі трафіку по i -тій лінії в режимі насичення (чиста пропускна здатність). Наведено формулу для розрахунку величини результативної транзитної затримки при передачі по лініям з визначеною пропускною здатністю.

Ключові слова: інженерна методика; оптимізація; пропускна здатність; час затримки; транзитна затримка.

Вступ

Постановка проблеми дослідження. Відомо що синтез телекомунікаційної мережі складається з синтезу структури, оптимізації параметрів і дискретного вибору мережі. Зазвичай, якщо топологія мережі зберігається незмінною, задачу оптимізації пропускної здатності лінії вирішувати достатньо просто. Вирішення ж задачі з пропускною здатністю, яка безперервно змінюється, значно складніше. Це може слугувати відправним моментом для вибору дискретного значення пропускної здатності. Тому в роботі ставиться задача вирішення питання співвідношення повної вартості з характеристиками лінії та виведення формули середньої затримки для i -тої лінії, яка задається часом очікування в черзі.

Викладення результатів дослідження

Однією з найважливіших задач при оптимізації мереж зв'язку є визначення основних показників, які характеризують її якість. Їх можна назвати

зовнішніми або вихідними параметрами. Позначимо ці параметри як a_1, a_2, \dots, a_n . До них належать, наприклад, затримка переданої інформації, імовірність помилки $P_{\text{пом}}$ при передаванні дискретних повідомлень, середній час безвідмовної роботи $\Delta t_{\text{сер}}$, вартість C . За умовами задачі проектування значення деяких з параметрів a_1, a_2, \dots, a_n мають бути фіксованими, а інші можуть у процесі проектування варіювати в певних межах. Нехай зовнішніми варійованими параметрами є $a_1, \dots, a_i, \dots, a_n$ [1].

Розглянемо вплив на якість мережі монотонного збільшення одного з цих параметрів, наприклад a_n за інших рівних умов, тобто незмінних умов роботи мережі і незмінних значень всіх інших параметрів мережі. Очевидно, при цьому можливий лише один з випадків, коли із зростанням a_j якість системи:

поліпшується;

погіршується;
не змінюється;
змінюється немонотонно.

На даному етапі проектування не вдається за тих або інших причин установити характер залежності якості мережі від значень параметра a .

Очевидно, у третьому випадку параметр a_i , не впливає на якість мережі і може при проектуванні взагалі не враховуватися. Надалі, якщо при монотонному збільшенні параметр a_i , набуває значення першого або другого випадку, цей параметр називається показником якості мережі і позначається k_i . У всіх інших випадках a_i не належить до класу показників якості і називається просто варіюваним параметром мережі [2].

Таким чином, показником якості k_i ($i = 1, 2, \dots, m$) мережі є така числова характеристика мережі, яка пов'язана з її якістю строгою монотонною залежністю – чим більше (чим менше) величина k_i , тим краща мережа при інших рівних умовах.

Взагалі, навіть не аналізуючи дії мережі, можна сказати, які зовнішні змінні параметри можуть при заданих вихідних даних розглядатися як показники якості (наприклад імовірність помилки, затримка, пропускна здатність, надійність, вартість). Навпаки, кількість транзитних вузлів, кількість абонентів у мережі не належать до показників якості.

При вирішенні питання про те, чи даний показник a_i може бути показником якості, враховується вплив цього показника на якість системи за інших рівних умов, зокрема, при зберіганні всіх інших показників системи [3].

Навіть відносно такого показника, як вартість C , не можна було б стверджувати, що «чим менше вартість, тим краща система», тому що при зменшенні вартості можуть погіршуватися такі найважливіші показники якості, як імовірність помилки, затримка. Введення показників якості k_1, \dots, k_m дає можливість у процесі проектування виключити безумовно гірші варіанти побудови мережі, завдяки чому можна не тільки уникнути прийняття безумовно гіршого розв'язку, але і часто полегшити і прискорити знаходження оптимального (кращого) розв'язку [4].

Сукупність $D = \{D_1, \dots, D_n\}$ усіх вихідних даних можна поділити на підгрупи:

сукупність $Y = \{Y_1, \dots, Y_p\}$ кількох умов;

сукупність $O_s = \{O_{S1}, \dots, O_{SQ}\}$ обмежень на структуру і параметри проектованої мережі;

склад сукупності (вектори) $K = \langle k_1, \dots, k_m \rangle$ показників якості мережі;

сукупність $O_k = \{O_{K1}, \dots, O_{KR}\}$ обмежень, які накладаються на показники якості;

Варіант побудови мережі S , що задовольняє сукупності $\{Y_1, O_s\}$ вихідних даних, називаємо

допустимою. При цьому може існувати не одна допустима мережа, а деяка множина допустимих M_D мереж. Допустима мережа, що задовольняє сукупності обмежень O_k , називається строго допустимою. Інакше кажучи, строго допустимою називається мережа, що задовольняє усій сукупності $D = \{Y, O_s, O_k\}$. Може існувати не одна, а деяка множина $M_{сд}$ строго допустимих мереж. З усіх строго допустимих мереж оптимальною (найкращою) вважається та мережа $S_{опт}$, що має найкраще (серед заздалегідь установлених) значення вектора K показників якості. Отже, для вибору оптимальної мережі попередньо обирають (обгрунтовують) критерій переваги (критерій оптимальності), і, як правило, за ним одне значення вектора K вважають кращим за інше його значення.

Не так давно при проектуванні не прагнули до пошуку обов'язково оптимальної мережі: задача проектування вважалася успішно вирішеною, якщо вдавалося знайти (спроєктувати) будь-яку строго допустиму мережу. Проте в останні роки стає все більш актуальною задача створення не тільки строго допустимих, але й оптимальних мереж. Це пояснюється тим, що з кожним роком зростають вимоги до телекомунікаційних мереж. Тому вважається суттєвим не просто задовольнити вихідним вимогам O_k , що пред'являються до показників якості системи, але і поліпшити ці показники.

Часто пошук оптимальної мережі називається (коротко) синтезом мережі [5].

Задачу синтезу можна сформулювати так: знайти таку мережу S , що задовольняє сукупності $\{Y, O_s, C_k, O_k\}$ вихідних даних і має при цьому значення $K = \langle k_1, \dots, k_m \rangle$ показників якості, найкраще як заздалегідь обраний критерій переваги (критерій оптимальності мережі).

Комбінований процес сполучення математичних і евристичних методів назвемо інженерним синтезом.

Синтез складних систем, як правило, має бути векторним.

Векторним називається синтез з урахуванням декількох показників якості, тобто за зазначенням вектора $K = \langle k_1, \dots, k_m \rangle$ показників якості. Векторний синтез називають векторною оптимізацією, оптимізацією за векторним критерієм або багатокритеріальною оптимізацією. На відміну від цього, синтез, що проводиться за єдиним показником якості ($m = 1$), називається скалярним.

Глобальним є синтез з урахуванням всіх суттєвих показників якості включаючи економічні і конструктивні. Якщо при синтезі враховуються не всі суттєві показники якості, то він називається частковим. У тому, що інженерний синтез має бути векторним і глобальним, неважко переконатися з наступних міркувань. Інженерний

синтез завершується розробкою мережі, оптимальної з погляду її практичного застосування. Отже, у процесі цього синтезу враховують усі суттєві для нього показники якості. Якщо не врахований хоча б один із суттєвих для практичного застосування показників якості, мережа не може вважатися оптимальною.

Тобто інженерний синтез завжди має бути глобальним. При інженерному синтезі не може бути такої ситуації, щоб суттєвим був тільки один показник якості: завжди буде щонайменше два суттєвих показники – вартість C та показник, що характеризує основний ефект, що досягається при застосуванні мережі (ефективність). На практиці кількість суттєвих показників якості більше двох. Звідси випливає, що глобальний синтез, а отже й інженерний синтез, завжди є векторним [6].

При математичному синтезі на відміну від інженерного для того, щоб зробити чисто математичне розв'язання задачі можливим або спростити його, іноді відмовляються від урахування деяких суттєвих показників, наприклад, не враховують (кількісно) економічні і конструктивні показники. Тому математичний синтез може бути як глобальним, так і частковим.

Синтез телекомунікаційної мережі, системи зв'язку або пристроїв звичайно містить розв'язання таких основних задач:

синтез оптимальної структури мережі (системи);

вибір оптимальних значень параметрів мережі, наприклад, затримки переданої інформації, достовірності, мінімальної кількості керуючої інформації в системі керування, що забезпечує задану точність параметрів керованої мережі, та інше, або оптимізацію параметрів.

вибір оптимального варіанта побудови мережі (системи) із скінченної кількості N цілком визначених варіантів S_1, S_2, \dots, S_N , або дискретний вибір мережі (системи).

Таким чином, синтез інфокомунікаційної мережі звичайно складається з синтезу структури, оптимізації параметрів і дискретного вибору мережі.

Викладення результатів дослідження

Якщо топологія мережі зберігається незмінною, можна сформулювати задачу оптимізації пропускної здатності лінії. Надмірно висока пропускна здатність лінії потребує додаткових затрат, а занадто мала пропускна здатність призводить до перевантажень і затримки повідомлень. На практиці пропускна здатність лінії не може варіюватися без всяких обмежень. Вона вибирається з дискретного набору. Проте вирішення задачі з пропускною здатністю, яка безперервно змінюється дає цікаві результати й може слугувати відправним моментом для вибору дискретного значення пропускної здатності.

Найпростіше співвідношення для повної вартості (D) і характеристиками лінії є лінійним і має вигляд [7]:

$$D = D_e + 10 \cdot \lambda_i \cdot d_i, \quad (1)$$

де D_e – це грошова сума, що залишилась після оплати за чисту пропускну здатність лінії;

d_i – вартісний коефіцієнт для i -тої лінії;

λ_i – інтенсивність трафіку лінії.

Величини d_i не однакові, тому що лінії мають різні довжини.

Щоб отримати простий вираз для часу затримки (T) через пропускні здатності C_i , необхідно виконати ряд спрощуючих дій: прийняти що довжини повідомлень мають експоненціальний розподіл, а моменти їх появи в кожному вузлі створюють пуассонівський потік. Ці припущення роблять всі задачі, пов'язані з чергами, незалежними. Не дивлячись на таке велике спрощення задачі, таким чином визначене T узгоджується з результатом більш точного моделювання в широкому діапазоні інтенсивності трафіку.

Середня затримка для i -тої лінії (T_i) задається часом очікування в черзі:

$$T_i = \frac{1}{\mu C_i - \lambda_i}, \quad (2)$$

де c_i – пропускна здатність i -тої лінії,

λ_i – інтенсивність пакетного трафіку лінії,

$\frac{1}{\mu}$ – середня довжина пакету в бітах.

Для того, щоб скласти середнє значення по всім процесам з чергами, значення T_i зважуються

за допомогою відношення $\frac{\lambda_i}{\gamma}$, де γ – сумарна

швидкість надходження повідомлень. Таким чином сумарна затримка всіх пакетів за 1 секунду роботи мережі $\sum_i \lambda_i T_i$ ділиться на загальне число

пакетів, які передаються мережею за 1 секунду

Середня затримка (T) при цьому визначається виразом:

$$T = \sum_i \frac{\lambda_i}{\gamma} \left(\frac{1}{\mu C_i - \lambda_j} \right) \quad (3)$$

подібне середнє значення для числа проходження даного пакету через деяку лінію під час його транзитних переміщень визначається через \bar{n} і визначається відношенням:

$$\bar{n} = \sum_i \frac{\lambda_i}{\gamma}.$$

Вираз для T можна уточнити, якщо додати члени, які враховують часи обробки повідомлення та час передачі по лінії.

Пропускні здатності, які мінімізують час затримки при постійній вартості лінії знаходяться методом невизначених множників Лагранжа і задаються рівнянням:

$$C_i = \frac{\lambda_i}{\mu} + \frac{D_e}{d_i} \frac{\sqrt{\lambda_i d_i}}{\sum \sqrt{\lambda_i d_i}}, \quad (4)$$

де D_e – визначається виразом:

$$D_e = D - \frac{\lambda_i d_i}{\mu}. \quad (5)$$

Величина $\frac{\lambda_i}{\mu}$ є пропускна здатність лінії по відношенню до передачі трафіку по i -тій лінії в режимі насичення (чиста пропускна здатність), так що правий доданок в правій частині (5) можна розглядати як додаткову пропускну здатність, додану цій лінії. Чиста пропускна здатність призводить до повної вартості $\sum (\lambda_i d_i) / \mu$ так, що D_e в рівнянні (5) це грошова сума, що залишилась після оплати за чисту пропускну здатність.

Рівняння (4) називається “Законом квадратного кореня при розподілі додаткової пропускної здатності”, тому що воно показує, що дана пропускна здатність повинна бути розподілена пропорційно квадратного кореня з інтенсивності трафіка в лінії. Величина результативної транзитної затримки при передачі по лініям з пропускну здатністю, яка задана рівнянням (5), визначається як:

$$T_{\text{опт}} = \frac{\bar{n}}{\mu D_e} \left(\sum_i \sqrt{\frac{\lambda_i d_i}{\lambda}} \right)^2. \quad (6)$$

Література

1. Гинзбург Б. М. Декомпозиционный алгоритм оптимизации распределения потоков в сети связи ЭВМ / Б. М. Гинзбург // В кн.: Управление на сетях и узлах связи. – М.: Наука, 1979. – С. 65–78. 2. Стеклов В. К. Многокритериальная оптимизация системы управления телекоммуникационными сетями / В. К. Стеклов, Н. Ф. Карпенко // Зв’язок. – 1999. – № 6. – С. 13–16. 3. Денисов А. А. Теория больших систем управления: Учебное пособие для вузов / А. А. Денисов, Д. Н. Колесников. – Л.: Энергоиздат, Ленинградское отделение, 1982. – 288 с. 4. Молчанов А. А. Моделирование и проектирование сложных систем /

У цьому виразі λ означає суму інтенсивності трафіку по всім лініям. Так як \bar{n} означає середнє число транзитних ліній, які проходить пакет, то цей вираз просто і ясно залежить від часу пересилання пакету і числа таких пересилань. Середній транзитний час, як видно, обернено пропорційний грошовій сумі D_e , що залишається після сплати за чисті пропускні здатності всіх ліній.

Висновки й перспективи подальших досліджень

В статті наведено співвідношення для повної вартості і характеристиками лінії, яке є лінійним. Виведено формулу середньої затримки для i -тої лінії, яка задається часом очікування в черзі.

На основі середньої затримки розраховується подібне середнє значення для числа проходження даного пакету через деяку лінію під час його транзитних переміщень. Розраховано пропускні здатності, які мінімізують час затримки при постійній вартості лінії і знаходяться методом невизначених множників Лагранжа. Визначена пропускна здатність лінії по відношенню до передачі трафіку по i -тій лінії в режимі насичення (чиста пропускна здатність). Наведено формулу для розрахунку величини результативної транзитної затримки при передачі по лініям з визначеною пропускну здатністю.

А. А. Молчанов. – К.: Вища шк., 1988. – 359 с. 5. Ф. Ф. Куо Протоколы и методы управления в сетях передачи данных / Ф. Ф. Куо; пер. с англ.; под ред. Ф. Ф. Куо. – М.: Радио и связь, 1985. – 480 с. 6. Стеклов В. К. Оценка пропускной способности каналов системы управления современными информационными сетями / В. К. Стеклов, Л. Н. Беркман // Вісник Українського Будинку економічних та науково-технічних знань. – № 8. – К., 1999. – С. 14–18. 7. Девіс Д. Сети для вычислительных машин / Д. Девіс, Д. Барбер. – М., 1979. – 300 с.

РАСЧЕТ ПРОПУСКНОЙ СПОСОБНОСТИ И ТРАНЗИТНОЙ ЗАДЕРЖКИ ПРИ ПЕРЕДАЧЕ ПО ЛИНИЯМ ТЕЛЕКОММУНИКАЦИОННЫХ СЕТЕЙ

Богдан Юрьевич Жураковский (д-р техн. наук, доцент)
Лариса Алексеевна Комарова (канд. физ.-мат. наук, с.н.с.)
Олег Валентинович Копийка (канд. техн. наук, с.н.с.)

Государственный университет телекоммуникаций, Киев, Украина

В данной статье предложена инженерная методика определения пропускной способности линии телекоммуникационной сети. Предложен вариант инженерного синтеза телекоммуникационной сети, который является комбинированным процессом сочетания математических и эвристических методов. Инженерный синтез предлагается векторным и глобальным, потому что должен завершаться разработкой сети, оптимальной с точки зрения ее практического применения. Учтены все существенные для сети показатели качества включая экономические и конструктивные.

При инженерном синтезе не может быть такой ситуации, чтобы существенным был только один показатель качества: всегда будет как минимум два существенных показателя – стоимость и показатель, характеризующий основной эффект, достигаемый при применении сети (эффективность). Если не будет учтен хотя бы один из существенных для практического применения показателей

качества, сеть не может считаться оптимальной. Синтез телекоммуникационной сети обычно состоит из синтеза структуры, оптимизации параметров и дискретного выбора сети. Если топология сети сохраняется неизменной, можно сформулировать задачу оптимизации пропускной способности линии. Решение задачи с пропускной способностью, которая непрерывно меняется, может служить отправным моментом для выбора дискретного значения пропускной способности.

Приведено соотношение для полной стоимости и характеристикам линии, которое является линейным. Выведена формула средней задержки для i -той линии, которая задается временем ожидания в очереди. На основе средней задержки рассчитывается подобное среднее значение для числа прохождения данного пакета через некоторую линию во время его транзитных перемещений. Рассчитаны пропускные способности, которые минимизируют время задержки при постоянной стоимости линии и находятся методом неопределенных множителей Лагранжа. Определена пропускная способность линии по отношению к передаче трафика по i -той линии в режиме насыщения (чистая пропускная способность). Приведена формула для расчета величины результирующей транзитной задержки при передаче по линиям с определенной пропускной способностью.

Ключевые слова: инженерная методика; оптимизация; пропускная способность; время задержки; транзитная задержка.

CARRYING CAPACITY AND TRANSIT DELAY CALCULATION WHEN TRANSMITTING VIA THE LINES OF TELECOMMUNICATION NETWORKS

Bohdan Y. Zhurakovskiy (Doctor of Technical Sciences, Associate Professor)

Larysa O. Komarova (Candidate of Physical and Mathematical Sciences, Senior Research Fellow)

Oleh V. Kopyika (Candidate of Technical Sciences, Senior Research Fellow)

State University of Telecommunications, Kyiv, Ukraine

Engineering methodology of determination of carrying capacity of telecommunication network line is offered in this article. The engineering synthesis variant of telecommunication network, which is the combined process of combining mathematical and heuristic methods, was offered in the article. The engineering synthesis is offered vectorial and global because it should end by network development, optimum from the point of view of its practical application. The all significant network performance indicators including economic and constructive were taken into account.

When engineering synthesis may not be such a situation that there only one significant indicator of quality: there will always be at least two major indicators – the price and indicator which characterizes the main effect achieved when applying network (efficiency). If not be counted at least one essential quality indicators for the practical application the network cannot be optimal. The telecommunication network synthesis usually consists of the structure synthesis, parameters optimization and discrete network choice. If the topology of network is not change, it is possible to set forth the optimization task of line carrying capacity. The carrying capacity task solution, which is constantly changing, can be as the starting point for selecting discrete values of carrying capacity.

The relation for the full cost and line characteristics, which are linear was given. The formula of middle delay for i -line is developed. It is set by queuing delay. On the basis of the average delay the similar average value is calculated for the number of passing known package through the some line during his transit movements. Carrying capacities that minimize delay time at the permanent line cost and define by the Lagrange multiplier method were calculated. The carrying capacity of the line in relation to the traffic transmission in the i -line in the saturation mode (clean carrying capacity) was defined. The formula for calculating the size of effective transit delay when transmission by the lines with the certain carrying capacity was given.

Keywords: engineering methodology; optimization; carrying capacity; time of delay; transit delay.

References

- Ginzburg B. M.** (1979) Decomposition algorithm for optimizing the distribution of flows in a communication network computers. [*Dekompozitsionnyy algoritm optimizatsii raspredeleniya potokov v seti svyazi EVM*], In the book: Management in networks and communication nodes, Nauka, Moscow, pp. 65–78.
- Steklov V. K., Karpenko N. F.** (1999) Multi-criteria optimization of systems of telecommunication networks management. [*Mnogokriterialnaya optimizatsiya sistem upravleniya telekommunikatsionnyimi setyami*], Zviazok, No. 6, pp. 13–16.
- Denisov A. A., Kolesnikov D. N.** (1982) The theory of large control system: Train aid for the institutes of higher. [*Teoriya bolshih sistem upravleniya: Uchebnoe posobie dlya vuzov*], Energoizdat, Leningradskoe otdelenie, Leningrad, 288 p.
- Molchanov A. A.** (1988) Simulation and planning of complex systems. [*Modelirovanie i proektirovanie slozhnykh sistem*], Vyshcha shkola, Kyiv, 359 p.
- Kuo F. F.** (1985) The protocols and methods of management in data networks. [*Protokoly i metody upravleniya v setyah peredachi dannykh*], Radio i svyaz, Moscow, 480 p.
- Steklov V. K., Berkman L. N.** (1999) Evaluation of the channel capacity in management system modern information networks. [*Otsenka propusknoy sposobnosti kanalov sistemyi upravleniya sovremennymi informatsionnyimi setyami*], Visnyk Ukrainskoho Budynku ekonomichnykh ta naukovo-tekhnichnykh znan, Kyiv, No. 8, pp. 14–18.
- Devis D., Barber D.** (1979) The networks for computing machines. [*Seti dlya vyichislitelnykh mashin*], Moscow, 300 p.

Отримано: 15.02.2015 року