

УДК 621.397.8

Л. А. КИРПАЧ, І. М. СРІБНА, К. П. СТОРЧАК, Г. І. ГАЙДУР, кандидати техн. наук, доценти,
Державний університет телекомунікацій, Київ

ПЛАНУВАННЯ ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЙНИХ МЕРЕЖ

Розглянуто основні питання планування телекомунікаційних мереж із застосуванням теорії черг.

Ключові слова: потоки викликів; теорія черг; пакети; система обслуговування.

Вступ

Стрімкий розвиток галузі телекомунікацій, поява численних новітніх технологій стали визначальними чинниками створення єдиного інформаційного суспільства. В умовах, коли ІТ технології впевнено опановують світовий ринок, невідкладним завданням стає планування мережі, здатної забезпечувати розвиток галузі інфокомунікацій згідно із загальносвітовим рухом у напрямку глобального інформаційного суспільства.

Саме тому не втрачає великого практичного значення розвиток наявної телефонної мережі загального користування, яка має найбільшу кількість користувачів, не вимагаючи значних матеріальних витрат.

Основна частина

Потреба користувачів у нових видах та стрімко зростаючих обсягах телекомунікаційних послуг призвела до ускладнення систем комутації та

принципів їх планування, особливо щодо обслуговування потоків навантажень, які надходять на вхід комутаційної системи.

Потоки викликів можуть обслуговуватися без втрат і з втратами. У першому випадку для передавання кожного повідомлення негайно встановлюється з'єднання, а у другому — частина повідомлень отримує відмову в обслуговуванні або їх обслуговування затримується на деякий час.

Що ж до втрат повідомлень, то вони бувають *явні та умовні*.

Обслуговування з *явними втратами* передбачає, що повідомлення і відповідний йому виклик при отриманні відмови втрачаються і на обслуговування не надходять.

Умовні втрати полягають у затримці передавання повідомлення понад допустимий час. Таке обслуговування може бути організовано з *повторенням* викликів й з *очікуванням*.

При *очікуванні* виклики, що надійшли, стають у чергу й обслуговуються в міру звільнення приладів.

Обслуговування з *повторенням викликів* є загальнішим обслуговуванням з очікуванням. Не обслужені джерела утворюють чергу і повторюють виклики через випадкові чи детерміновані проміжки часу аж до встановлення з'єднання. При цьому розрізняють поняття *втрати викликів* і *втрати повідомлень*, оскільки втрата окремих викликів не призводить до явної втрати повідомлення. Відбувається лише затримка обслуговування, тобто виникають умовні втрати.

Обслуговування з *повторенням викликів* є більш загальним, ніж обслуговування з явними втратами і очікуванням. Зі зростанням інтенсивності повторення проміжки між сусідніми спробами скорочуються, а в разі досягнення певного значення інтенсивності всі спроби перетворюються на нескінченне очікування. Зі спаданням інтенсивності повторення різниця щодо інтенсивності джерел первинних і повторних викликів стає дедалі менша, а при однакових інтенсивностях числові характеристики системи з повторенням збігаються з відповідними характеристиками системи з явними втратами.

Пояснюється це тим, що оскільки ймовірнісні властивості обох (первинних і повторних) потоків викликів стали однакові, то й усі виклики, котрі надійшли, можна розглядати як нові, а затримані втрачаються.

Можливе також комбіноване обслуговування. Наприклад, якщо в системі з очікуванням обмежено час перебування в черзі або довжина черги, то частина викликів обслуговуватиметься з повторенням або з явними втратами.

При проектуванні слід вибирати такі методи й засоби розв'язання проектних завдань, які забезпечують найкраще досягнення мети — мінімізацію термінів проектування та матеріальних витрат, а також оптимальність отриманих проектних рішень.

Швидка еволюція сучасних телекомунікаційних технологій майже щоденно створює нові послуги, сприяючи вдосконаленню методів прогнозування розвитку засобів і мереж (систем) зв'язку, їх проектування та експлуатації.

При вдосконаленні телефонної мережі важливим чинником виступає метод комутації пакетів. Адже інформація передається за деяким маршрутом, визначеним на етапі планування мережі зв'язку. При цьому на особливу увагу заслуговують такі параметри, як кількість пакетів та їх довжина, кількість викликів у даний момент часу та протягом певного проміжку часу, тривалість зайняття.

Пакети, що надходять на вхід мережі або вузла зв'язку, нагромаджуються, обробляються, а далі

зчитуються у визначений час. Час очікування залежить від часу обробки у вузлі та довжини пакета, від пропускну здатності каналу й дисципліни обслуговування, застосовуваної при обробці пакетів.

Важливу роль при цьому відіграє обслуговування з використанням черг.

Черга може бути *впорядкована* (обслуговування в порядку надходження), *реверсивна* (у зворотному порядку), *випадкова* (у випадковому порядку), а також із *пріоритетом*. Для деяких категорій викликів встановлюється *відносний пріоритет*, а для деяких *абсолютний пріоритет*, — коли виклик, що надійшов при зайнятості всіх доступних йому приладів, перериває обслуговування виклику більш низького пріоритету і займає його комутаційні пристрої.

У процесі обслуговування користувачів часто постає потреба в наданні певним категоріям системи послуг за пріоритетами. Цей фактор найбільш важливий при проектуванні систем керування. Класи пріоритетів уводяться для різних послуг і різних категорій абонентів. Вищі пріоритети встановлюються для забезпечення команд і службових повідомлень, застосовуваних із метою керування процесами взаємодії елементів мережі, а також при керуванні мережею.

Наприклад, мережа каналів передавання даних працює зі швидкістю 9600 біт/с. Позначимо пакети даних індексом 2, а керуючі пакети (як правило, меншої довжини) — індексом 1.

Середня довжина пакетів даних становить 960 біт, тобто $1/\mu_2 = 0,1$ с, а дисперсія $\sigma_2^2 = 2(1/\mu_2)^2$, або $E(\tau^2) = 3(1/\mu_2)^2$. А оскільки всі керуючі пакети мають довжину 48 біт, то $1/\mu_1 = 5$ мс. У разі фіксованої довжини пакетів $\sigma_1^2 = 0$.

Розглянемо систему обслуговування в порядку надходження з однією чергою, яка є початковим каналом передавання даних. Нехай 20% загального навантаження створюється короткими керуючими пакетами, а 80% — набагато довшими пакетами даних. Таким чином, маємо $\lambda_1 = 0,2\lambda$ і $\lambda_2 = 0,8\lambda$, де λ — загальна швидкість надходжень вхідного потоку, пакетів/с.

Вочевидь, без пріоритетів робота системи обслуговування з комбінованим вхідним потоком може бути описана моделлю $\mu/G/1$. Інтенсивність комбінованого навантаження $\rho = \rho_1 + \rho_2$. Оскільки пакети обох класів надходять випадково з інтенсивністю відповідно λ_1 і λ_2 , то другий момент комбінованого потоку зважено сумою других моментів:

$$E(\tau^2) = \frac{\lambda_1}{\lambda} E(\tau_1^2) + \frac{\lambda_2}{\lambda} E(\tau_2^2). \quad (1)$$

Нехай для визначеності ефективно значення ρ дорівнює 0,5. Тоді загальна інтенсивність надходжень $\lambda = 6,17$ пакетів/с, а отже, досить просто визначається середній час очікування для пакета будь-якого типу — 148 мс. Керуючі пакети

завдовжки 48 біт, які потребують для передавання 5 мс, часто можуть виявитися в черзі набагато довгими, ніж 100-мілісекундний інформаційний пакет, і змушені будуть чекати передавання в середньому 148 мс. Очевидним рішенням є надання керуючим пакетам вищого пріоритету, що дає змогу їм обійти при надходженні інформаційні пакети більш низького пріоритету і безпосередньо стати першими в черзі.

Зазвичай використовуються два типи пріоритетів: *відносний* і *абсолютний*. У першому випадку користувачі (пакети або виклики послуг) вищого пріоритету стають попереду користувачів (пакетів) нижчого пріоритету в черзі, але не витісняють їх. У разі абсолютного пріоритету обслуговування користувачів із нижчим пріоритетом припиняється і продовжується лише після того, коли всіх користувачів, що надійшли з вищим пріоритетом, буде обслуговано. У даному разі розглядаються тільки відносні пріоритети.

Повертаючись до щойно розглянутого прикладу коротких і довгих керуючих пакетів, покажемо, що надання відносного пріоритету керуючим пакетам у середньому скорочує для них час очікування вдвічі до 47,5 мс, лише неістотно збільшуючи час очікування інформаційних пакетів. Якщо це зменшення в реальних випадках виявиться недостатнім, то може бути використаний абсолютний пріоритет. Проте необхідно зазначити, що користувачі, обслуговування яких було перервано, мають бути позначені. Через це постає необхідність додаткової обробки, яка може призвести до зменшення теоретичної ефективності, очікуваної від введення пріоритету.

Для більшого узагальнення припустимо, що в черзі чекають на обслуговування $2r$ класів користувачів. Інтенсивність потоків, що їх вони створюють, позначимо $\lambda_1, \lambda_2, \dots, \lambda_r$, причому кожний з цих потоків — пуассонів. Середній час обслуговування для k -го класу ($k = 1, 2, \dots, r$) дорівнює $1/\mu_k$.

Будемо вважати, що вищий пріоритет має клас 1, нижчий — клас r (зі спаданням пріоритетів у послідовності зростання номера).

Подамо розрахунок середнього часу очікування для будь-якого класу за припущення, що пріоритети є відносними. Візьмемо для прикладу клас p ($1 \leq p \leq k$). Нехай типовий користувач цього класу надходить у довільний момент часу t_0 . Його випадковий час очікування W_p , що вимірюється від моменту надходження до початку обслуговування, залежить від трьох параметрів. Користувач, який надійшов, має чекати протягом випадкового проміжку часу T_0 доти, доки не закінчиться поточний час обслуговування користувача. Крім того, він має чекати випадкову кількість T_k одиниць часу до закінчення обслуговування всіх користувачів класу k (який або вищий за клас p , або має з ним

однаковий пріоритет), котрі вже перебували в черзі в момент часу t_0 . Нарешті, очікування має тривати протягом випадкового часу T_k для користувачів кожного класу k , які вищі за клас p , і надійшли протягом часу очікування W_p .

Об'єднуючи ці параметри, дістаємо:

$$W_p = T_0 + \sum_{k=1}^p T_k + \sum_{k=1}^{p-1} T'_k. \quad (2)$$

Для визначення середнього часу очікування скористаємось співвідношенням

$$E(W_p) = E(T_0) + \sum_{k=1}^p E(T_k) + \sum_{k=1}^{p-1} E(T'_k). \quad (3)$$

Для того щоб знайти три середні значення часу в рівності (3), зазначимо, що $E(T_k)$ виникає завдяки середній кількості $E(m_k)$ користувачів класу k , які очікують у системі. Кожний із них потребує в середньому $1/\mu_k$ одиниць часу, тому безпосередньо знаходимо

$$E(T_k) = E(m_k)/\mu_k. \quad (4)$$

Але за формулою Літтла величина, пов'язана із середнім очікуванням $E(W_k)$, набирає вигляду

$$E(m_k) = \lambda_k E(W_k). \quad (5)$$

Об'єднуючи рівняння (4) і (5), маємо:

$$E(T_k) = \rho_k E(W_k), \quad \rho_k \equiv \lambda_k/\mu_k. \quad (6)$$

Розглянемо тепер параметр $E(T_k)$, який дістали, узявши до уваги надходження в середньому $E(m_k)$ користувачів класу k протягом часу $E(W_p)$.

Із того, що інтенсивність надходжень дорівнює λ_k і кожний користувач потребує в середньому $1/\lambda$ одиниць часу обслуговування, безпосередньо випливає:

$$E(T_k) = \lambda_k E(W_p)/\mu_k = \rho_k E(W_p). \quad (7)$$

Отже, $E(T_0)$ — це залишковий час обслуговування користувача, який перебуває на обслуговувальній лінії.

Для системи обслуговування з відносними пріоритетами, які зберігають функціонування (тобто коли обслуговувальна лінія працює в режимі нормальної роботи, а користувач чекає на обслуговування), зазначений час не залежить від дисципліни обслуговування. Він має бути один і той самий, якщо користувачі всіх k класів обслуговуються з однаковим пріоритетом за надходженням. Для середнього часу очікування в системі $M/G/1$ знаходимо

$$E(T_0) = \lambda E(\tau^2)/2 = \sum_{k=1}^r \lambda_k E(\tau_k^2)/2. \quad (8)$$

Це співвідношення узагальнює розглянутий раніше приклад із двома пріоритетними класами.

Варто згадати особливість систем із пріоритетами, яка полягає в тому, що деякі (високі) класи пріоритетів поліпшують характеристики, інші — навпаки. Цікаво, що тут виконується закон збереження. Можна показати, що зважена сума значень часу очікування завжди одна й та сама:

$$\sum_{k=1}^r \rho_k E(W_k) = \rho E(W), \quad (9)$$

де $E(W)$ — час очікування в системі $M/G/1$ (обслуговування черги за надходженням).

У разі зменшення деяких значень часу очікування інші заради компенсації мають збільшитися. Цей закон збереження є окремим випадком більш загального закону для систем зі збереженням функціонування, який уперше сформулював Клейнрок.

Скориставшись результатами теорії масового обслуговування і теоремою Літтла, можна обчислити середню затримку проходження інформації в мережі.

Наприклад, середня затримка виклику в системі визначається так:

$$T = \frac{1}{\mu} + \frac{\rho_Q}{t\mu - \lambda}, \quad (10)$$

де μ — швидкість обслуговування (цей параметр показує, з якою швидкістю працює обслуговувальний прилад, тобто дорівнює кількості викликів, обслуговуваних за одиницю часу, коли він зайнятий); ρ_Q — імовірність події, яка полягає в тому, що вимога надійшла в момент, коли в системі всі обслуговувальні прилади зайняті, і тому цю вимогу буде поставлено в чергу для очікування (визначається за формулою Ерланга); t — кількість обслуговувальних пристроїв.

Застосовуючи теорему Літтла, знаходимо середню кількість вимог у системі:

$$N = T\lambda = \frac{\lambda}{\mu} + \frac{\lambda\rho_Q}{t\mu - \lambda}. \quad (11)$$

Аналогічно, використовуючи відомі співвідношення з теорії масового обслуговування, визначаємо середній час проходження керуючої інформації телекомунікаційною мережею залежно від різних умов.

Висновок

Сьогодні на основний чинник розвитку світової економіки перетворюються інфокомунікаційні технології. Зокрема, при вдосконаленні телефонної мережі головну роль відіграє застосування методу комутації пакетів і обслуговування з використанням черг. При цьому середня затримка виклику в системі залежить від швидкості обслуговування та кількості обслуговуваних пристроїв.

Література

1. Бочаров, П. П. Теория массового обслуживания / П. П. Бочаров, А. В. Печинкин. — М.: РУДН, 1995. — С. 530.

2. Автоматизація проектування пристроїв, систем та мереж зв'язку: підручник для вузів / [М. В. Захарченко, В. К. Стеклов, Н. О. Князева, та ін.]. — К.: Радіоаматор, 1996. — 268 с.

3. Стеклов, В. К. Проектування телекомунікаційних мереж: підручник для студентів вищих навч. закладів за напрямком «Телекомунікації» / В. К. Стеклов, Л. Н. Беркман; за ред. В. К. Стеклова. — К.: Техніка, 2002. — 792 с.

Л. А. Кирпач, И. Н. Срибная, К. П. Сторчак, Г. И. Гайдур

ПЛАНИРОВАНИЕ ТЕЛЕКОМУНИКАЦИОННЫХ СЕТЕЙ

Рассмотрены основные вопросы планирования телекоммуникационных сетей с применением теории очередей.

Ключевые слова: потоки вызовов; теория очередей; пакеты; система обслуживания.

L. A. Kirpach, I. M. Sribna, K. P. Storchak, G. I. Gaydur

PLANNING OF TELECOMMUNICATIONS NETWORK

In the article were considered the main planning issues in the operation of telecommunications networks by using queuing theory.

Keywords: call flows; queuing theory; packages; service system.