

УДК 621.39; 004.724

Беркман Л. Н., д.т.н.; Жебка В. В., аспірантка

(Державний університет телекомунікацій, м. Київ. +380 (98) 728 46 13. Viktoria-90-G@mail.ru)

РОЗРАХУНОК ЧАСУ ЗАТРИМКИ ПРОХОДЖЕННЯ ІНФОРМАЦІЇ З ВРАХУВАННЯМ СТРУКТУРИ МЕРЕЖІ З КОМУТАЦІЄЮ ПАКЕТІВ

Беркман Л. Н., Жебка В. В. Розрахунок часу затримки проходження інформації з врахуванням структури мережі з комутацією пакетів. Розглянуто модель однолінійної системи обслуговування. Встановлено параметри, які дозволяють кількісно оцінити якість структурної схеми, визначаючи оптимальну структуру мережі передачі інформації для різної кількості абонентів і спектра послуг, які надаються. Досліджено час затримки проходження інформації з врахування структури мережі з комутацією пакетів. Встановлено залежність часу затримки від інтенсивності надходження вимог при заданій продуктивності, від продуктивності системи передачі інформації при різних інтенсивностях надходження вимог та від вартості.

Ключові слова: однолінійна система обслуговування, мережа передачі інформації, оптимальна структура, час затримка інформації, комутація пакетів

Беркман Л. Н., Жебка В. В. Расчет времени задержки прохождения информации с учетом структуры сети с коммутацией пакетов. Рассмотрена модель однолинейной системы обслуживания. Установлено параметры, которые позволяют количественно оценить качество структурной схемы, определяя оптимальную структуру сети передачи информации для различного количества абонентов и спектра услуг, которые предоставляются. Исследованы время задержки прохождения информации с учётом структуры сети с коммутацией пакетов. Установлена зависимость времени задержки от интенсивности поступления требований при заданной производительности, от производительности системы передачи информации при различных интенсивностях поступления требований и от стоимости.

Ключевые слова: однолинейная система обслуживания, сеть передачи информации, оптимальная структура, время задержка информации, коммутация пакетов

Berkman L. N., Zhebka V. V. Calculation of time of information passage delay considering network structure with packet switching. The model of single-line system of service is considered. The parameters which allow to quantify of the block diagram quality defining the optimum network structure of transfer information for various number of subscribers and the range of services were established. The time of information passage delay considering network structure with packet switching was investigated. Dependence of time delay on receiving intensity of requirements is established. Dependence of time delay on productivity of system information transfer by receiving of various intensities of requirements and dependence of time delay on value were established.

Keywords: single-line system of service, network of information transfer, optimum structure, time of information delay, switching of packages

Вступ. Одним з найбільш важливих параметрів інформаційної мережі є середній час затримки [1], необхідний для доставки повідомлення від джерела до місця призначення. Більш того, результати дослідження часу затримки суттєво впливають на вибір і роботу алгоритмів маршрутизації і алгоритмів управління потоком інформації. Тому, для розв'язання задачі оптимального проектування мережі з комутацією пакетів необхідно визначити залежність середнього часу затримки проходження інформації по мережі від різних параметрів її функціонування. При вирішенні даної задачі постає проблема завадостійкості обладнання. Будемо вважати, що вказана проблема буде розв'язана за допомогою багатоканальних модемів багатопозиційних сигналів, які працюють на основі алгоритму когерентного прийому багатопозиційних сигналів. Вказане припущення достатньо важливе, оскільки воно передбачає відсутність перезапиту пакетів з помилками.

Основна частина. Як відомо, при дослідженні мереж з комутацією пакетів проблеми черг виникають абсолютно природно. Пакети, що надходять на вхід мережі або проміжного вузла на шляху до пункту призначення, нагромаджуються, обробляються з метою вибору відповідного каналу передачі до наступного вузла, а потім зчитуються каналом у визначений час їх передачі. Час, затрачений на очікування передачі в накопичувачі, є важливим показником, що характеризує роботу мережі, оскільки затримка передачі, тобто час очікування, входить як складова до однієї з основних характеристик, що безпосередньо відчуються користувачем. Час очікування звичайно залежить від часу обробки у вузлі і довжини пакету, залежить також від пропускної спроможності каналу передачі, який виражається числом пакетів, переданих за секунду, інтенсивністю надходження пакетів у вузол (число пакетів за секунду), і дисципліни обслуговування, що застосовується при обробці пакетів.

Теорія черг виникає також при дослідженні мереж з комутацією каналів, і не тільки при вивченні обробки викликів, але і з аналізу залежності між числом доступних каналів (кожний з яких одночасно може обробляти один виклик) і ймовірністю того, що виклик, який потребує встановлення з'єднання буде заблокований або поставлений в чергу для очікування на обслуговування [2]. Зазначимо, що історично велика частина сучасної теорії черг була розроблена в ході дослідження телефонних повідомлень. На сьогодні необхідні дослідження інтегральних мереж, в яких задачі комутації пакетів і комутації каналів об'єднуються. Перспективним для проведення таких досліджень є застосування теорії черг.

Розглянемо найпростішу модель обслуговування, зображену на Рис. 1.

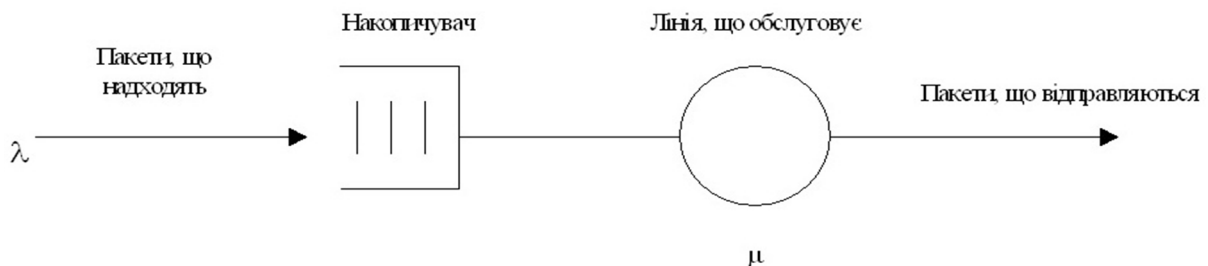


Рис. 1. Модель однолінійної системи обслуговування

Для більшої конкретності, будемо вважати, що черга складається з пакетів даних. Цими пакетами можуть бути також виклики, що чекають обслуговування в системі з комутацією каналів.

Пакети надходять випадково з середньою швидкістю λ пакетів за одиницю часу (найчастіше буде застосовуватися пакет/с). Вони чекають обслуговування в накопичувачі і обслуговуються відповідно до деякої конкретної дисципліни зі середньою швидкістю μ пакетів в одиницю часу.

У контексті мережі передачі даних обслуговуюча лінія – це засіб передачі (вихідний канал або лінія), який передає дані з вказаною швидкістю C блоків даних за одиницю часу. Частіше замість блоків даних вказуються символи або знаки, і говорять про швидкість передачі, або пропускну спроможність каналу, в біт/с або знаках/с. Наприклад, канал, який обробляє пакети довжиною 1000 біт і передає з швидкістю $C=2400$ біт/с, буде передавати пакети з інтенсивністю $\mu=2,4$ пакети/с. В більш загальному випадку, якщо середня довжина пакету в бітах дорівнює $1/\mu'$ біт і визначається в одиницях біт/пакет, пропускна спроможність в пакетах складає $\mu = \mu' C$ пакетів/с. У разі викликів в мережі з комутацією каналів користувачем є виклик і величина λ виклик/с представляє інтенсивність надходжень

або середнє число викликів, що обробляються за секунду. Параметр $1/\mu$ в с/виклик називається середньою тривалістю зайняття.

Очевидно, якщо інтенсивність надходження пакетів λ наближається до швидкості обробки пакетів μ , черга починає рости. При накопиченні максимальної місткості (реальний випадок), якщо λ перевищить μ , черга досягне найбільшої допустимої величини і буде продовжувати зростати. При переповненні накопичувача, надходження всіх наступних пакетів буде заблоковано. Для простоти передбачимо, що накопичувач є нескінченним (таке припущення ми будемо часто робити для спрощення аналізу), тоді черга при $\lambda \rightarrow \mu$ стає нестабільною.

В однолінійній системі обслуговування стабільність забезпечується при $\lambda < \mu$. Важливу роль в аналізі черг відіграє параметр $\rho = \lambda/\mu$, який часто називають *коефіцієнтом використання каналу* або *інтенсивністю навантаження*. Зазначимо, що він визначається як відношення навантаження системи до її пропускної спроможності. Для однолінійної системи обслуговування, коли ρ наближається до одиниці або перевершує її, виникає область перевантаження (скупченість), затримка починає швидко зростати, і пакети, що надходять блокуються частіше.

Для кількісного обговорення часу затримки, характеристик блокування і пропуску пакетів (фактичного числа пакетів, що проходять через систему за одиницю часу) і їх зв'язку як з пропускною спроможністю μ , так і з місткістю накопичувача, представленого на Рис. 1, необхідна більш докладна модель системи обслуговування.

Найпростіша система обслуговування це черга типу M/M/1, яка є системою з пуассонівським вхідним потоком та показниковим розподілом часу обслуговування. Для такої системи досить легко отримати ймовірність стану як у випадку скінченної, так і у випадку нескінченної черги.

Статичні властивості системи M/M/1, наприклад, середній час заняття, ймовірність блокування для скінченної черги та інші, достатньо легко можуть бути визначені, якщо знайдені ймовірності p_n стану системи. За означенням p_n – це ймовірність того, що в системі знаходяться n клієнтів (пакетів в мережі з комутацією пакетів або викликів в мережі з комутацією каналів), включаючи клієнта, який знаходиться на обслуговуванні. Припускається, що система працює в постійному режимі і тому вказані ймовірності не змінюються з часом.

Позначення M/M/1 запропоновано британським статистиком Д. Дж. Кендаллом. В загальному вигляді позначення Кендалла для системи обслуговування мала вигляд A/B/C, де символ A – означав розподіл на вході, B – розподіл часу обслуговування, а C – число обслуговуючих ліній. Зокрема, для позначення пуассонівського процесу або еквівалентного йому показникового розподілу застосовується символ M (Марківський процес).

Що ж стосується системи типу M/M/m, то вона характеризується пуассонівським вхідним потоком, показовим розподілом часу обслуговування і числом обслуговуючих ліній m . Система M/G/1 характеризується пуассонівським вхідним потоком, довільним розподілом часу обслуговування (від слова general) і однією обслуговуючою лінією. В окремому випадку, система M/D/1 означає систему з фіксованим (детермінованим) або постійним часом обслуговування. Система M/M/m/m подібна до системи M/M/m, за виключення того, що у випадку, коли вимога при надходженні в систему виявить, що всі m обслуговуючих приборів зайняті, вона не надійде в систему, а втратиться [3]. Останнє позначення m в записі моделі вказує на максимальне число вимог, які можуть знаходитись в системі. Ця модель широко використовується у телефонному зв'язку.

Після визначення видів систем обслуговування перейдемо безпосередньо до розгляду поставленої задачі, а саме до визначення часу затримки проходження інформації з врахуванням структури мережі з комутацією пакетів.

Вхідні потоки вимог представляються пуассонівськими вхідними процесами з параметрами, які задаються відповідно матрицею графа. Її елементи – інтенсивність надходження вимог. Вхідні потоки можуть розбиватися на класи, кожен із яких характеризується деякими загальними властивостями (наприклад, потік пакетів з однаковими джерелами та адресами, потік вимог, передача яких не вдалася з першої спроби і т.д.).

Маршрутизація вимог здійснюється з допомогою набору ймовірностей маршрутних переходів. Ці ймовірності дозволяють єдиним чином описати математично широкий клас правил маршрутизації з ціллю дослідження часу затримки. Представимо телекомунікаційну мережу як мережу з чергами.

Як відомо, середнє число вимог в системі N і час затримки T пов'язані простою формулою

$$N = \lambda T, \quad (1)$$

де λ – середня швидкість надходження вимог, тобто відношення математичного очікування числа вимог, що надійшло за інтервал $[0, t]$, до цього інтервалу.

Цей результат, відомий як теорема Літгла, дозволяє виражати одне середнє значення через інше.

Скориставшись результатами теорії масового обслуговування і теоремою Літгла (1), можна обчислити середню затримку проходження інформації в мережі.

Наприклад, середня затримка виклику в системі

$$T = \frac{1}{\mu} + \frac{P_Q}{m\mu - \lambda}, \quad (2)$$

де μ – швидкість обслуговування (даний параметр показує, з якою швидкістю працює обслуговуючий прилад, тобто кількість викликів, що обслуговуються за одиницю часу, коли він зайнятий);

P_Q – імовірність події, що вимога, яка надійшла, визначає, що в системі всі обслуговуючі прилади зайняті, і буде поставлена у чергу для очікування (визначається за формулою Ерланга);

m – кількість обслуговуючих пристроїв [1, 4].

Застосовуючи вирази (1) і (2), обчислимо середню кількість вимог у системі:

$$N = T\lambda = \frac{\lambda}{\mu} + \frac{\lambda P_Q}{m\mu - \lambda}. \quad (3)$$

Аналогічно за допомогою відомих співвідношень у теорії масового обслуговування визначається середній час проходження керуючої інформації телекомунікаційною мережею залежно від різних умов.

Для розв'язання задачі оптимізації мереж необхідно, як зазначалося, визначити пропускні можливості каналів мережі для передачі інформації призначеної для користувача і управління. При цьому повинна забезпечуватися належна якість.

Задача визначення пропускної можливості каналів для передачі призначеної для користувача інформації може бути розв'язана відомими методами теорії інформації [5]:

- Для дискретного каналу

$$C = \max_{P(A)} [H(A) - H(A/B)], \quad (4)$$

де A і B – випадкові символи на вході та виході каналу;
 $H(A)$ – власна ентропія джерела; $H(A/B)$ – ентропія зі сторони приймача.

- Для безперервного каналу звернемося до формули Шеннона:

$$C = \Delta F \log_2 \left(1 + \frac{P_C}{P_{\text{ш}}} \right),$$

де ΔF – ширина смуги каналу зв'язку;
 $\frac{P_C}{P_{\text{ш}}}$ – відношення потужностей сигналу до потужності шуму.

Зазначимо, що в мережі часто неможливо визначити апіорний розподіл ймовірностей повідомлення джерела, тому традиційні параметричні алгоритми не забезпечують необхідної якості. Доцільно застосовувати непараметричні алгоритми обробки сигналів [6]. Для визначення пропускної можливості каналів для передачі інформації необхідно спочатку оцінити об'єм такої інформації, а потім пропускну можливість за (3) та (4).

Нехай процес функціонування мережі в кожен момент часу t характеризується вектором змінних станів $\{x_1(t), x_2(t), \dots, x_n(t)\}$ або функціоналом $\Phi\{x_1(t), x_2(t), \dots, x_n(t)\}$. Вказані змінні є випадковими величинами з власними законами розподілу $P(x_i)$.

Управління мережею являє собою процес приведення змінних станів мережі за вказаний час з початкового стану в оптимальний.

Використовуючи термінологію теорії інформації, можна сказати, що управління мережею – це процес зменшення невизначеності станів мережі, що може бути чисельно виражено як зміна ентропії мережі при управлінні. Таким чином, ентропія визначає розкидання параметрів мережі в даний момент часу.

Відомо, що середня кількість інформації при передачі сигналу рівна різниці ентропії розподілу ймовірностей вхідної величини до отримання сигналу і усередненій ентропії розподілу ймовірностей цієї величини після отримання сигналу. Таким чином, визначивши зміни ентропії управляючого процесу функціонування мережі за рахунок дій управління, можна оцінити кількість інформації, яка необхідна для отримання необхідного розподілу ймовірностей змінних станів мережі.

Із основних відношень теорії інформації випливає, що кількість інформації при передачі $x \rightarrow x'$ визначається як

$$I = H(x) - H(x/x').$$

В загальному випадку, якщо процес характеризується вектором $\{x_1(t), x_2(t), \dots, x_n(t)\}$, то ентропія визначається як

$$H = - \int_{-\infty}^{\infty} \dots \int_{-\infty}^{\infty} P(x_1, x_2, \dots, x_n) \log P(x_1, x_2, \dots, x_n) dx_1 \dots dx_n.$$

Оскільки реальний закон розподілу щільності ймовірності $P(x)$ зарані визначити важко, припустимо, що $P(x)$ має нормальний закон розподілу. В такому випадку ентропія

$$H = \log \sqrt{2\pi\sigma^2} = \log \sqrt{2\pi}\sigma,$$

де σ – дисперсія x .

Відповідно, зміни ентропії визначаються наступним чином:

$$H(t) - H(t-1) = \log \frac{\sigma_1(t)}{\sigma_1(t-1)} + \dots + \log \frac{\sigma_n(t)}{\sigma_n(t-1)},$$

де $\sigma_1(t), \sigma_1(t-1), \dots, \sigma_n(t), \sigma_n(t-1)$ – дисперсія випадкових величин, які характеризують параметри мережі передачі даних в моменти часу, які фіксуються.

Третій параметр, необхідний для розв'язання функціоналу, структура мережі, яка визначається виходячи з аналізу якості структурної схеми.

Розглянемо параметри, які характеризують якість структурної схеми, представлені графом [7]:

1. *Зв'язаність графу* дозволяє визначити наявність обривів (відсутність необхідних зв'язків), “вісячі” вершини і деякі інші структурні недоліки функціональної схеми.

2. *Ранг елементу* дозволяє розподілити елементи схеми в порядку їх значимості, що тут визначається тільки кількістю зв'язків даного елементу з іншими. Чим вище ранг елементу, тим сильніше він зв'язаний з іншими елементами схеми і тим важчими будуть наслідки при зміні якості його функціонування.

3. *Множина сполучень*, яку можна визначити як структурний параметр, який вказує на те, що при видаленні елементів із системи вона руйнується, перестає існувати як єдине ціле. Дослідника, звичайно цікавить той мінімум елементів, знищення яких призведе до руйнації системи.

Ці три параметри дозволяють кількісно оцінити якість структурної схеми, визначаючи оптимальну структуру мережі передачі інформації для різної кількості абонентів і спектра послуг, які надаються.

Залежність часу затримки від інтенсивності надходження вимог при заданій продуктивності представлено на Рис. 2. Із графіку видно, що, як і очікувалося, час затримки передачі інформації збільшується пропорційно інтенсивності, і як наслідок для забезпечення величини часу затримки не більше заданого, при збільшенні навантаження на систему передачі інформації, необхідно збільшувати продуктивність комутаційного обладнання.

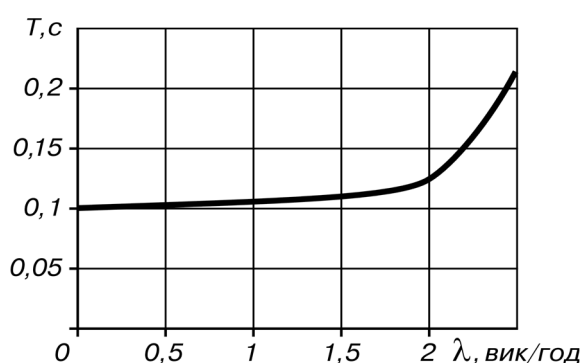


Рис. 2. Залежність часу затримки від інтенсивності надходження вимог

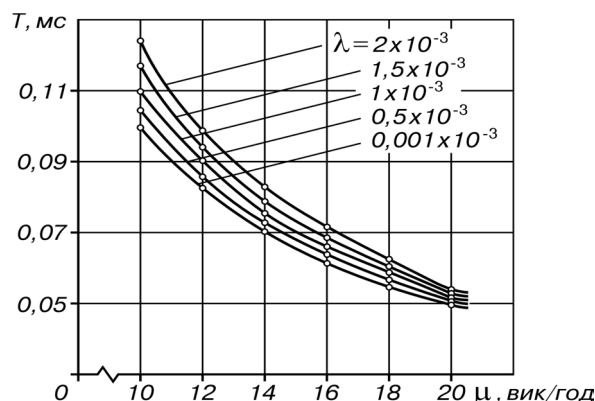


Рис. 3. Залежність часу затримки від продуктивності системи передачі інформації

На Рис. 3 представлена залежність часу затримки від продуктивності системи передачі інформації при різних інтенсивностях надходження вимог. Вказані залежності часу затримки від продуктивності системи передачі інформації дають можливість зробити висновок для практичного використання, що при підвищенні продуктивності системи передачі інформації до певного рівня, час затримки несуттєво залежить від інтенсивності і тому найбільш

ефективним засобом зниження часу затримки є збільшення продуктивності вузлів системи передачі інформації, а не зниження відносного навантаження на вузол.

На Рис. 4 представлена залежність часу затримки від вартості (вартість визначається продуктивністю вузла і його функціональними можливостями). Цілком природно, що при збільшенні вартості час затримки знижується. Проте з графіку видно, що існують області в яких, підвищення вартості обладнання призводить до незначного зниження часу затримки. Це відбувається тому, що вартість обладнання визначається не тільки продуктивністю, але й іншими можливостями вузла. При вимозі до такого параметра як час затримки необхідно вибирати таке обладнання, у якого при заданій вартості максимальна продуктивність.

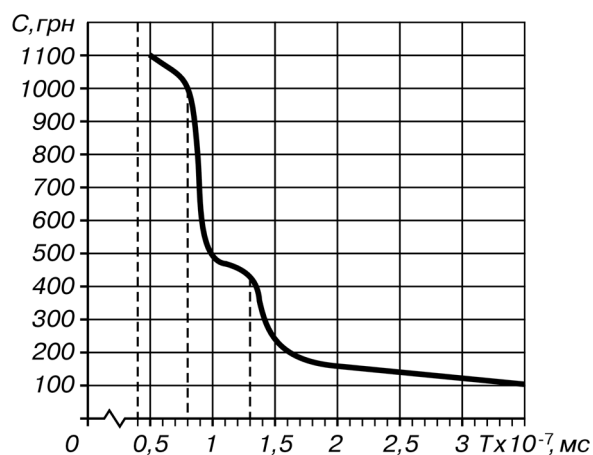


Рис. 4. Залежність часу затримки від вартості

Висновок. Таким чином, при розв'язанні задачі оптимального проектування системи передачі інформації за критерієм мінімуму часу затримки необхідно:

- при підвищенні інтенсивності над-ходження вимог підвищувати продуктивність вузлів мережі передачі інформації, а не кількість обслуговуючих пристроїв;
- вибрати структуру таким чином, щоб при заданій інтенсивності і продуктивності було якомога менше транзитних ділянок;
- для заданої вартості вибрати обладнання з найбільшою продуктивністю.

Наведені методи доцільно впроваджувати в системах управління сучасними телекомунікаційними мережами України. Вони охоплюють новітні технологічні рішення, які дозволяють на базі традиційного устаткування здійснювати більш ефективне управління.

Література

1. Шварц М. Сети связи: протоколы, моделирование и анализ : Ч. 1 / М. Шварц. – Москва : Наука, 1992. – 336 с.
2. Дэвис Д. Сети связи для вычислительных машин ; пер. с англ. / Д. Дэвис, Д. Барбер. – Москва : Мир, 1976. – 370с.
3. Бертсекас Д. Сети передачи данных / Д. Бертсекас, Р. Галлагер. – Москва : Мир, 1989. – 544 с.
4. Шварц М. Сети связи: протоколы, моделирование и анализ : Ч. 2 / М. Шварц. – Москва : Наука, 1992. – 272 с.
5. Теория передачи сигналов / [А. Г. Зюко, Д. Д. Кловский, М. В. Назаров, Л. М. Финк]. – Москва : Радио и связь, 1986. – 304 с.
6. Лапий В. Ю. Устройства ранговой обработки информации / В. Ю. Лапий, Л. Г. Калюжный, Л. Г. Красный. – Київ : Техніка, 1986. – 120 с.
7. Нечипоренко В. И. Структурный анализ систем / В. И. Нечипоренко. – Москва : Сов. радио, 1977. – 216 с.

Дата надходження в редакцію: 10.04.2014 р.

Рецензент: д.т.н., проф. В. В. Поповський