

ДОСЛІДЖЕННЯ МЕРЕЖІ З КОМУТАЦІЄЮ ПАКЕТІВ

Воропаєва В.Я., Верховський Я.М., Федосєєва О.С.
Донецький національний технічний університет, м. Донецьк
кафедра автоматики і телекомунікацій
E-mail: vita@fcita.dn.ua

Abstract

Voropaeva V.Y., Verchovskiy Y.M., Fedoseeva O.S. Packet commutation network research. The article analyzes system answer time depending on ratio subservient frame length to informational frame length, discovers limited coefficient of channel utilization for different types of packet commutation network.

Загальна постановка проблеми. Сучасний етап розвитку телекомунікаційних мереж характеризується необхідністю передачі багатокомпонентної інформації (мова, дані, відео). Отже, з одного боку, постає різномірний трафік, що висуває певні вимоги до якості обслуговування, а з іншого – обмежені ресурси по пропускній здатності, ємності буферів та швидкодії мережного обладнання. Саме необхідність знайти найліпше співвідношення між якістю обслуговування і можливостями мережі зумовлює актуальність дослідження таких параметрів як час обслуговування, час очікування обслуговування, час "відповіді" вузла та їх залежність від розміру пакетів.

Деякі аспекти цих питань розглядалися фахівцями України та Росії, зокрема Корнишевим Ю.М., Стекловим В.К., Беркман Л.Н., Криловим В.В. Проведені дослідження дозволяють зробити висновок, що одним з важливих параметрів якості обслуговування для мереж з комутацією пакетів є нормований час відповіді [1].

Постановка задач дослідження. Для дослідження та аналізу нормованого часу відповіді мережі, необхідно вирішити наступні основні задачі:

- побудувати модель мережі з комутацією пакетів;
- дослідити нормований час відповіді для мереж з різними способами передачі підтверджень;
- дослідити залежність нормованого часу відповіді від співвідношення між довжиною службового та інформаційного пакету.

Рішення задач та результати дослідження. В мережах з комутацією пакетів поведінка системи в поточний момент часу залежить від попереднього стану системи (кількості пакетів в черзі та на обслуговуванні). Проте, якщо відомий стан i , $i > 0$ процесу i_t в момент t_k закінчення обслуговування k -го запиту, то можна спрогнозувати значення процесу i_t в момент закінчення обслуговування $(k+1)$ -го запиту, який відбудеться через випадковий час. Згідно з [2] для аналізу мережі з комутацією пактів можна використовувати модель M/G/1.

Розглядаючи мережі з комутацією пакетів, що не орієнтована на з'єднання, необхідно зазначити, що кожний пакет доставляється індивідуальним маршрутом. Передача пакета вважається завершеною тільки після одержання підтвердження про його прийом. Можливі два способи передачі підтверджень – в окремих пакетах та в спеціальних полях інформаційних пакетів зворотного напрямку.

Розглянемо перший спосіб – підтвердження передаються в окремих пакетах. Позначимо інтенсивність потоку у вхідному вузлі λ , пропускну здатність дуплексного каналу між вузлами $C_T = NC_L$, де величина C_L визначає максимальну швидкість доступу до вузла від індивідуального абонента - пропускну здатність абонентської лінії – див. рис. 1.

Нехай кожний прийнятий пакет генерує окреме підтвердження фіксованої довжини L_f біт. Тим самим у кожному вузлі утворюється кілька потоків: потік пакетів змінної довжини, що

складаються з заголовку довжини L_I та інформаційної частини випадкової довжини із середнім значенням m_c , а також потік підтверджень фіксованої довжини L_I біт.

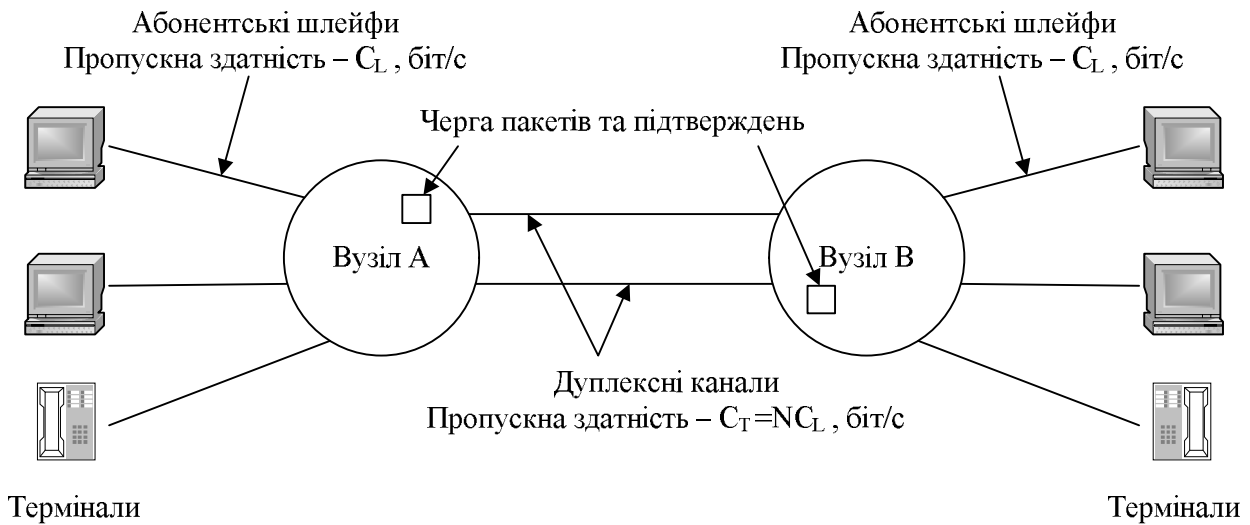


Рисунок 1 – Модель мережі з комутацією пакетів

Поставимо завдання знайти середній час відгуку T_D від вузла до вузла, як функцію навантаження в мережі, довжини службових та інформаційних пакетів та інтенсивності передачі повідомлень.

Аналіз моделі мережі дозволяє вивести час відповіді мережі. Він буде складатися з часу затримки в черзі інформаційного потоку вузла А, часу затримки в черзі потоку підтверджень вузла В, середнього часу передачі інформаційного пакету (враховуючи заголовок) та часу передачі пакету підтвердження.

Весь вихідний потік вузла зчитується в канал зі швидкістю C_T . Отже середнє значення часу обслуговування на один пакет дорівнює:

$$(L_I + m_c) / C_T = t_h + t_m \quad (1)$$

Перша складова являє собою час на передачу заголовків, а друга складова – час на передачу даних. Якщо прийняти, що середня тривалість підтверджень також дорівнює t_h , то середній «еквівалентний» час обслуговування в системі M/G/1 дорівнюватиме:

$$\bar{x} = \frac{1}{2}(t_h + t_m) + \frac{1}{2}t_h \quad (2)$$

Оскільки надходження двох типів вхідних повідомлень рівноімовірні, і обслуговування відбувається в порядку надходження, можна вважати, що коефіцієнт використання для даної системи буде визначатися як:

$$\rho = 2\lambda \bar{x} = \rho_M (1 + 2t_h / t_m), \quad (3)$$

де ρ_M - ефективний коефіцієнт використання каналу, який враховує тільки корисну інформацію:

$$\rho_M = \lambda * t_m \quad (4)$$

Середнє значення часу очікування обслуговування визначається за формулою Полячека-Хінчина [3]:

$$W = \frac{\lambda \bar{x}^2}{2(1-\rho)}, \quad (5)$$

де \bar{x} - середній час очікування, який згідно з [1] для СМО типу M/G/1 залежить від другого моменту розподілу часу обслуговування. Отже:

$$\bar{x}^2 = 0.5(t_h^2 + (t_m + t_h)^2 + t_m^2) \quad (6)$$

Таким чином, загальний час затримки передачі пакета від вузла до вузла, дорівнюватиме:

$$T_D = t_m + 2t_h + 2\bar{W} \quad (7)$$

Для наочності нормуємо отриманий час затримки в мережі на час передачі даних по абонентській лінії T_M :

$$T_M = t_m * N, \quad (8)$$

де N – кількість джерел.

Оскільки були поставлена задача дослідити час відгуку мережі від відношення довжини керуючого пакета до довжини інформаційного пакета. Введемо наступне позначення:

$$k = \frac{t_h}{t_m} \quad (9)$$

Отже, нормований час відповіді в мережі з комутацією пакетів без встановлення з'єднання, враховуючи (8) та (9) матиме вигляд:

$$T_D / T_M = \frac{1}{N} \left(1 + 2k + \frac{\rho_M (1 + k + k^2)}{(1 - \rho_M (1 + 2k))} \right) \quad (10)$$

Аналіз (10) показує, що ця величина матиме сенс, тільки при виконанні деяких умов. По-перше, ця величина повинна існувати у реальній площині, тобто:

$$\rho_M (1 + 2k) \neq 1 \quad (11)$$

По-друге, вона не повинна бути від'ємною:

$$T_D / T_M \geq 0 \quad (12)$$

При цьому N , k , ρ_M гарантовано більше нуля. Якщо об'єднати умови (11) та (12) то нормований час відповіді буде безумовно мати сенс, коефіцієнт ефективного використання каналу буде знаходитися в межах:

$$\rho_M \leq \frac{1}{(1+2k)} \quad (13)$$

Цю умову можна використовувати для знаходження граничного значення коефіцієнту ефективного використання каналу. Як бачимо, коефіцієнт ефективного використання каналу визначається лише відношенням довжини службового пакету до довжини інформаційного і не залежить від кількості каналів у системі.

Розглянемо другий спосіб - передача підтверджень в спеціальних полях інформаційних пакетів зворотного напрямку. В даному випадку не організується окремий потік пакетів підтверджень. Спеціальні поля підтверджень вбудовуються в інформаційні пакети зворотнього напрямку (від одержувача до відправника). Це означає, що у середній еквівалентний

час обслуговування (2) не входить складова $\frac{1}{2}t_h$, що відповідає за потік пакетів підтверджень.

Отже, (2) трансформується:

$$\bar{x} = \frac{1}{2}(t_h + t_m) \quad (14)$$

Складова t_h , що позначає потік підтверджень буде також відсутня і в коефіцієнті використання каналу, і в середньому часі очікування обслуговування і в загальному та нормованому часі відповіді системи. Розглянуті вище параметри будуть записані як:

Коефіцієнт використання:

$$\rho = 2\lambda\bar{x} = \rho_M(1+t_h/t_m), \quad (15)$$

Середній час очікування:

$$\bar{x}^2 = 0.5(t_m^2 + (t_m + t_h)^2) \quad (16)$$

Нормований час затримки:

$$T_D/T_M = \frac{1}{N}(1+k' + \frac{\rho_M(1+k'+\frac{1}{2}k'^2)}{(1-\rho_M)(1+k')}), \quad (17)$$

де k' – коефіцієнт, що позначає відношення довжини керуючого пакета до довжини інформаційного пакета:

$$k' = t'_h / t_m \quad (18)$$

Як і в попередньому випадку, необхідно виконання деяких умов, які трансформуються в підсумкову:

$$\rho_M \leq \frac{1}{(1+k')} \quad (19)$$

Звичайно, всі висновки, зроблені для попередньої системи, правдиві і для моделі з передачею підтверджень в спеціальних полях інформаційних пакетів зворотного напрямку.

Порівняння моделей. Порівняємо модель з передачею окремих пакетів підтверджень та модель з передачею підтверджень в полях зворотних пакетів, розглянувши два випадки:

- довжина службового пакету в 10 разів менша довжини інформаційного ($k=0.1$, $N=10$) (рис.2);

- довжина службового пакету дорівнює довжині інформаційного ($k=1$, $N=10$) (рис.3).

З отриманих графіків видно, що в першому випадку при збільшенні коефіцієнту використання каналу (тобто при збільшенні навантаження на канал) доцільніше використовувати модель з вбудованими повідомленнями. Максимальний коефіцієнт використання каналу в цій системі становить 0,909 проти 0,83 у системі з окремими повідомленнями. Крім того, після перетину значення $\rho_M=0,7$ система з вбудованими підтвердженнями має менший час відповіді в порівнянні з системою, орієнтованою на передачу окремих повідомлень. Що безумовно свідчить на користь першої моделі.

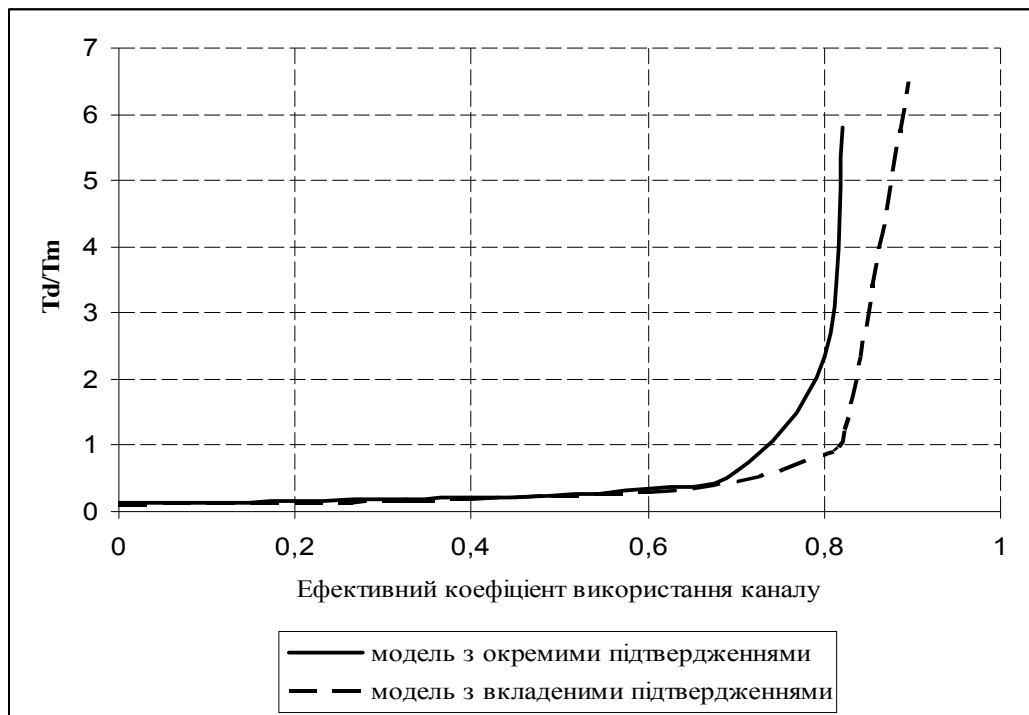


Рисунок 2 - Нормований час відповіді в мережі без встановлення з'єднання ($k=0,1$)

Слід зазначити, що розглянуте співвідношення службової та інформаційної частин пакету ($k=0,1$) характерне для більшості сучасних пакетних телекомунікаційних технологій. Наприклад, в технології АТМ довжина поля даних складає 48 байт, а заголовок – 5 байт. А якщо розглядати технологію Ethernet/802.3, то коефіцієнт k буде навіть менший, ніж 0,1. Адже довжина поля даних кадру LLC складає 1496 байт, тоді як заголовок – усього 21 байт ($k=0.014$). "Найгірше" співвідношення має кадр Ethernet SNAP – 1492 байти т 29 байт відповідно ($k=0.02$). але навіть в цьому випадку результати будуть кращими, ніж зображені для випадку $k=0.1$. Проте не можна не

відмітити, що кадри Ethernet, на відміну від осередків АТМ, мають змінну довжину. Отже ефективний коефіцієнт використання каналу буде змінюватися залежно від "заповнення" кадру даними (розмір заголовку, як відомо, є постійним).

Другий випадок ($k=1$) є, так би мовити, критичним, адже система, у якій довжина службових повідомлень перевищує довжину інформаційних, не має сенсу. В цьому випадку модель з окремими підтвердженнями значно програє моделі з вкладеними. Адже граничне значення ρ_m першої системи 0,33, тоді як другої – 0,5. Крім того, вже на рівні 0,3 модель з окремими підтвердженнями має приблизно в 3 рази більший час відгуку у порівнянні з моделлю, що орієнтована на передачу підтверджень в пакетах зворотного напрямку (1,2 в порівнянні з 0,4).



Рисунок 3 - Нормований час відповіді в мережі без встановлення з'єднання ($k=1$)

Висновки.

1. Показано, що коефіцієнт ефективного використання каналу не залежить від кількості каналів у системі, а визначається лише відношенням довжини службового пакету до довжини інформаційного, при цьому чим це відношення менше, тим ефективніше використовується канал.

2. Отримані результати свідчать, що модель з передачею вкладених підтверджень є ефективнішою, ніж модель з передачею окремих підтверджень, адже нормований час відгуку системи в неї менший.

Література

1. Крылов В.В., Самохвалова С.С. Теория телетрафика и ее приложения. – СПб.:БХВ-Петербург, 2005. - 288с.
2. Вишнеvский В.М. Теоретические основы проектирования компьютерных сетей. – М.:Техносфера, 2003. - 512с.
3. Ю.Н. Корнышев и др. Теория телетрафика, - М.: Радио и связь, 1996. – 272 с.