

УДК 621.391

Лещенко О. О., к.т.н.

(Державний університет телекомунікацій, м. Київ. +380 (44) 249 25 88. lesolga@ukr.net)

ДОСЛІДЖЕННЯ ЯКОСТІ ФУНКЦІОНУВАННЯ ІНФОКОМУНІКАЦІЙНОЇ МЕРЕЖІ

Лещенко О. О. Дослідження якості функціонування інфокомунікаційної мережі. Досліджено основні параметри інфокомунікаційної мережі, які впливають на якість функціонування та ефективність її роботи. Проаналізовано характеристики оцінки якості послуг та визначено критерій оптимальної роботи. Обґрунтовано, що результуючий коефіцієнт якості роботи мережі залежить від таких параметрів: затримки, ймовірності помилки та швидкості передачі даних. Враховуючи параметри мережі, представлено математичні способи оптимізації цільової функції. Наведено приклад оптимізації мережі за критерієм мінімуму затримки при використанні апаратних характеристик мережі.

Ключові слова: інфокомунікаційна мережа, телекомунікації, якість послуг, показник якості.

Лещенко О. А. Исследование качества функционирования инфокоммуникационной сети. Исследованы основные параметры инфокоммуникационной сети, влияющие на качество функционирования и эффективность ее работы. Проанализированы характеристики оценки качества услуг и определен критерий оптимальной работы. Обосновано, что результирующий коэффициент качества работы сети зависит от следующих параметров: задержки, вероятности ошибки и скорости передачи данных. Учитывая параметры сети, представлены математические способы оптимизации целевой функции. Приведен пример оптимизации сети по критерию минимума задержки при использовании аппаратных характеристик сети.

Ключевые слова: инфокоммуникационная сеть, телекоммуникации, качество услуг, показатель качества.

Leshchenko O. O. Research of quality functioning of infocommunication network. The basic parameters of infocommunication network, influencing on quality functioning and efficiency of her work, are investigational. Descriptions of estimation of quality of services are analyzed and the criterion of optimal work is certain. It is reasonable, that the resulting coefficient of quality of work of network depends on next parameters: delays, probabilities of error and rate of data. Taking into account the parameters of network, the mathematical methods of optimization of objective function are presented. An example of optimization of network is made on the criterion of a minimum of delay at the use of vehicle descriptions of network.

Keywords: infocommunication network, telecommunications, quality of services, index of quality.

Вступ. Розвиток інфраструктури сучасних інфокомунікаційних мереж (ІКМ) направлений на масштабне впровадження високошвидкісних технологій і нових телекомунікаційних послуг на основі використання пакетної передачі інформації для трафіка утвореного програмами різних типів. Важливою особливістю таких мереж є освоєння нових масштабів часу. Необхідна розробка оптимізаційних процедур, що дозволяють оцінювати можливості мережі по забезпеченню необхідних ймовірнісно-часових характеристик інформаційного обміну.

Телекомунікації відіграють значну роль в соціальній та економічній діяльності суспільства, забезпечуючи оперативне або інтерактивне (діалогове) передавання інформації. Розвиток телекомунікацій повинен здійснюватися швидкими темпами порівняно із загальними темпами розвитку економіки і буде визначальним на найближчу і подальшу перспективу. Повільні темпи розвитку телекомунікацій спричиняють зниження конкурентоспроможності економіки України. Телекомунікації відіграють значну роль у прискоренні розвитку економіки та соціальної сфери [1].

Метою даної роботи є дослідити основні параметри інфокомунікаційної мережі, які впливають на ефективність роботи. Вся сукупність найбільш часто використовуваних критеріїв ефективності роботи мережі може бути розділена на дві групи. Одна група характеризує продуктивність роботи мережі, друга – надійність [2].

Продуктивність мережі вимірюється за допомогою показників двох типів – часових, які оцінюють затримку, внесену мережею при виконанні обміну даними, і показників пропускну здатності, що відображають кількість інформації, переданої мережею за одиницю часу. Ці два типи показників є взаємно оберненими, і, знаючи один з них, можна обчислити інший.

Відповідно до рекомендації ITU-T E.800, якість послуг (QoS – Quality of Service) – це сукупність специфічних параметрів, що відносяться до внутрішньої структури мережі та обумовлюють якість її роботи і характеризують споживчі властивості послуги в термінах, зрозумілих користувачам.

Уся сукупність характеристик якості обслуговування і функціонування мережі поділяється на дві категорії:

- первинні – визначені шляхом прямого спостереження в точці доступу до послуги і відносяться до певного моменту часу;
- похідні – визначенні на підставі одного або декількох первинних атрибутів або усереднені за деякий інтервал часу.

Керуючі впливи системи керування по забезпеченню QoS зводяться до структурування інформаційних потоків і визначенню алгоритмів обробки кожного виду трафіку у вузлах комутації. Розподіл ресурсів вузлів комутації виробляється за допомогою різних алгоритмів буферизації пам'яті і призначення пріоритетів для організації черг пакетів і визначення порядку їхньої обробки.

Проаналізувавши характеристики оцінки якості послуг для інфокомунікаційної мережі критерій оптимальної роботи можна охарактеризувати такими факторами ((1)...(4)):

$$K_{opt} = \langle T, P, V \rangle, \quad (1)$$

T – затримка; P – ймовірність помилки; V – швидкість передачі.

$$T = T_{\text{транз}} + T_{\text{зат}} + T_{\text{розр}}, \quad (2)$$

де $T_{\text{транз}}$ – транзитні затримки;

$T_{\text{зат}}$ – затримка встановлення мережевого з'єднання;

$T_{\text{розр}}$ – затримка завершення мережевого з'єднання.

$$P = P_{\text{н.встан}} + P_{\text{відм.дост}} + P_{\text{помил}} + P_{\text{втрат}} + P_{\text{н.розр}}, \quad (3)$$

де $P_{\text{н.встан}}$ – ймовірність невдалого встановлення мережевого з'єднання;

$P_{\text{помил}}$ – ймовірність помилки;

$P_{\text{втрат}}$ – ймовірність невдалої передачі інформації;

$P_{\text{н.розр}}$ – ймовірність відмови завершення транспортного з'єднання.

$$V = V_{\text{з'єдн}} + V_{\text{п.д}} + V_{\text{з.з'єдн}}, \quad (4)$$

де $V_{\text{з'єдн}}$ – швидкість встановлення з'єднання;

$V_{\text{п.д}}$ – швидкість передачі даних;

$V_{\text{з.з'єдн}}$ – швидкість завершення з'єднання.

Таким чином, сформовані мережеві показники і методи досягнення якості послуг телекомунікаційних мереж в залежності від:

- а) виду трафіку;
- б) застосовуваних протоколів передачі;
- в) виду мереж.

Отже кількість показників, які характеризують якість реальної системи, може бути занадто великою. Процес пошуку оптимальних критеріїв практично зводиться до кількісного рішення задачі оптимізації.

Тобто: існують m показників якості $K = \langle K_1, \dots, K_m \rangle$ системи, при цьому вихідні параметри системи набувають в стані рівноваги значення $x_1^*, x_2^*, \dots, x_n^*$, за якого досягається мінімізація функції $F(x_1, x_2, \dots, x_n; K_1, K_2, \dots, K_m)$.

Якість системи можна характеризувати за критерієм оптимальної роботи K_{opt} . При чому результуючий показник якості приймає вигляд:

$$K = \min_{C_i} F(K_{opt}), \quad (5)$$

де $c_i(x)$ – обмеження, які задовольняють допустиму область значень функції $F(x)$.

Вибір методу оптимізації інфокомунікаційної мережі залежить від виду цільової функції, обмежень та допустимої області (задається системою нерівностей та рівностей).

Задачу оптимізації можна сформулювати так: знайти мінімум цільової функції $\min_{x \in R^n} F(x)$

при $c_i(x)$ – обмеженнях, які задовольняють допустиму область значень функції $F(x)$ [3].

Цільова функція повинна бути сформульована виходячи з наявних уявлень про якість проектованої мережі: її значення має зменшуватися з поліпшенням якості.

У процесі пошуку оптимального рішення для кожної конкретної задачі може виявитися кращим певний вид критерію оптимальності. У задачах, що вимагають максимальної відповідності оптимізуємої характеристики і деякої бажаної, наприклад, при оптимізації частотних характеристик, найбільш доцільно використовувати критерій середнього квадратичного відхилення

$$F(x) = \overline{(Y(x) - Y^*)^2}, \quad (6)$$

де Y^* – бажане або необхідне за технічним завданням значення характеристики, $\overline{(\quad)}$ – знак усереднення.

Для характеристики, заданої дискретним набором точок, цільова функція

$$F(x) = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \gamma_i (Y(x, p_i) - Y_i^*)^2 \quad (7)$$

де N – число точок дискретизації незалежної змінної p ;

$Y(x, p_i)$ – значення оптимізуємої характеристики в i -й точці інтервалу дискретизації;

γ_i – ваговий коефіцієнт i -го значення оптимізуємої характеристики, що відображає важливість i -ої точки в порівнянні з іншими (як правило, $0 < \gamma_i < 1$).

Мінімізація функцій (6) і (7) забезпечує близькість характеристик по середньому квадратичному відхиленню. Функція (7) використовується при чисельних методах обчислення $Y(x)$.

У деяких задачах оптимізації необхідно забезпечити перевищення або не перевищення оптимізуємою характеристикою деякого заданого рівня. Розглянемо критерій оптимальності для забезпечення неперевищення заданого рівня

$$F(x) = \begin{cases} 0 & \text{при } Y(x) \leq Y_B^* \\ (Y(x) - Y_B^*)^2 & \text{при } Y(x) > Y_B^*, \end{cases} \quad (8)$$

де Y_B^* – верхня межа допустимої області для характеристики $Y(x)$.

Стратегія розв'язання задач оптимального проектування передбачає застосування глобальних процедур оптимізації на початкових етапах пошуку і уточнення отриманого глобального рішення швидкозбіжними в околі оптимальної точки локальними алгоритмами. Така стратегія дозволяє, по-перше, з достатньою надійністю і точністю визначити значення глобального екстремуму і, по-друге, істотно знизити обчислювальні витрати на пошук. При цьому етапи глобального пошуку [5] можуть виконуватися з невисокою точністю, а етапи локального уточнення проводяться в області тяжіння глобального екстремуму, що вимагає значно меншого числа обчислень.

Алгоритми глобального пошуку, як правило, дають досить грубу оцінку глобального екстремуму при невеликих витратах обчислювальних ресурсів і вимагають значного збільшення числа обчислень для отримання більш точної оцінки положення екстремуму [6].

Інфокомунікаційні мережі усе більш відповідають терміну “глобальні” і вже практично не залишилися комп'ютерів (а також інших “розумних пристроїв”: смартфонів, комунікаторів, ноутбуків і субноутбуків, навігаторів і тому подібних), які не мають виходу до всесвітньої павутини, тобто, що не є членами глобальної телекомунікаційної мережі. При цьому різні пристрої створюють унікальний трафік. Для одних користувачів та їх пристроїв важливе листування електронною поштою, інші – є файловими серверами, треті – беруть участь в аудіо- та відеоконференціях, четверті – завантажують карти місцевості з великою роздільною здатністю, п'яті – отримують відео-контент завдяки послугі IPTV. Продовжувати цей список можна нескінченно, але означає він одне – величезну неоднорідність передаваної інформації по об'ємах, призначенню, терміновості, часу, завадостійкості, вимогам до безпеки передачі. Саме тому будь-яка транспортна система ефективна лише за умови, що вона підтримує динамічну рівновагу і пристосовується до умов і завдань, що швидко змінюються. Сучасна технологія повинна, грубо кажучи, “самооптимізуватися” в реальному часі. Наприклад, велика проблема телекомунікації – гігантські пульсації рівню трафіку. Якщо телефонний трафік пульсує максимум в 5...15 разів, то при передачі даних – це вже сотні тисяч разів [4].

Кажучи про мережі IP і ІКМ, потрібно враховувати, що десятки тисяч комп'ютерів (а кожен з них здатний породити сотні мегабіт трафіку в секунду), об'єднаних в одну мережу, можуть давати колосальні сплески і спади трафіку. Технології SDH і ATM в моменти зростання трафіку не здатні динамічно надавати велику смугу пропускання, а в моменти спаду не в змозі утилізувати вільну смугу.

Щоб забезпечити роботу мережі в режимі реального часу і, отже, уникнути збоїв, затримки в передачі фреймів (кадрів, від англ. Frame – кадр – фрагмент даних мережевого протоколу канального рівня моделі OSI, що передається по лінії зв'язку) повинні бути настільки короткими, наскільки це можливо, і якість зв'язку не повинна залежати ні від яких випадкових факторів. При порівняльному аналізі ефективності технології Fast Track Switching і традиційної технології комутації шляхом вимірів затримок при використанні комутаторів двох типів в мережі з лінійною топологією.

У мережах використовуються дві різні технології комутації: Store&Forward і Cut-through. Багато комутаторів Ethernet працюють в режимі Store&Forward, в цьому режимі вхідні фрейми тимчасово зберігаються в комутаторі до відправки. При використанні технології Cut-Through фрейми передаються відразу після розпізнавання адреси одержувача. Розроблена технологія Fast Track Switching дозволяє ідентифікувати фрейми мережі автоматизації, встановлювати для них пріоритет над фреймами мережі і відправляти в режимі Cut-Through.

Можна порівняти різні технології комутації шляхом вимірювання періодів очікування. Визначення параметра, що характеризує час затримки фреймів в комутаторі, приведено в документах RFC 2544 і RFC 1242.

Якщо вимірювати періоди очікування для фреймів мінімальної (64 байта) і максимальної (1518 байт) довжини (Табл. 1), технологія FTS дозволяє зменшити період очікування при відправці фрейма 64 байт практично вдвічі порівняно з технологією Store&Forward. Крім того, час затримки при використанні FTS не залежить від довжини кадру. Вимірювання проводились для наступних умов: $V_{п.д}$ – швидкість передачі даних 100 Мбіт/с, L - довжина кабельної лінії максимум 8м, двосторонній режим обміну даними.

Час очікування на комутаторі

Табл. 1

Тип комутатора	Технології переключення	Час затримки (мкс)	
		64 байти	1518 байт
Harting FTS 3100s-A	Fast Track Switching	4,6	4,6
Profinet Comformance Class B	Store&Forward	8,7	124,7

Затримка фреймів в мережі залежить від таких параметрів, як період очікування, число використовуваних комутаторів, завантаження мережі, довжина фреймів, швидкість передачі даних, топологія мережі, число користувачів і довжина кабельних ліній. Для оцінки впливу цих параметрів була обрана мережа лінійної топології з конфігураціями від двох до восьми комутаторів.

Порівняння технологій Store&Forward і Fast Track Switching можливо на конфігурації з FTS-комутаторів, так як вони працюють в режимі Store&Forward, коли фрейми мережі автоматизації не надходять на комутатор.

Результати вимірювань підтвердили явні переваги технології Fast Track Switch: при використанні цієї технології періоди очікування для коротких фреймів становлять тільки половину від періодів очікування, зафіксованих в мережі з працюючим на основі традиційної технології комутатором Profinet Conformance класу В. При цьому результат не залежить від довжини фреймів.

При проведенні вимірювань в мережі лінійної топології з вісьмома комутаторами було доведено, що технологія FTS дозволяє передавати фрейми значно швидше, ніж Store & Forward. Технологія Fast Track Switch дозволяє помітно знизити розкид значень часу затримки, які знаходяться в сильній залежності від завантаження мережі.

Висновок. При дослідженні якості функціонування інфокомунікаційних мереж було визначено, що результуючий коефіцієнт якості роботи мережі залежить від таких параметрів: затримки, ймовірності помилки та швидкості передачі даних. Ці параметри, в свою чергу, залежать від виду переданого трафіку, застосовуваних протоколів передачі та виду мережі. Враховуючи параметри мережі, представлено математичні способи оптимізації цільової функції та способи застосування. Визначено, що для деякої межі допустимої області характеристики K_{opt} цільова функція описується системою нерівностей. Наведено приклад оптимізації мережі за критерієм мінімуму затримки при використанні апаратних характеристик мережі.

Література

1. Офіційний сайт Національної комісії, що здійснює державне регулювання у сфері зв'язку та інформатизації [Електронний ресурс] // – Режим доступу: <http://www.nkrz.gov.ua>.
2. Global information infrastructure, internet protocol aspects and Next Generation Networks – future networks. Future Networks: Objectives and Design Goals // Recommendation ITU-T Y.3001 (2011).
3. Лещенко О. О. Оптимальні методи управління інфокомунікаційними мережами / О. О. Лещенко // Матеріали ІХ науково-методичної конференції ДУІКТ «Сучасні тенденції розвитку технологій в інфокомунікаціях та освіті». Київ, 22-23 листопада 2012. – С.150.
4. Телекоммуникационные системы и сети : учебное пособие. В 3 томах. Том 3. – Мультисервисные сети / В.В. Величко, Е. А. Субботин, В. П. Шувалов, А. Ф. Ярославцев; под ред. В. П. Шувалова. – Москва : Горячая линия – Телеком, 2005. – 592 с.
5. Гилл Ф. Практическая оптимизация / Ф. Гилл, У. Мюррей, М. Райт ; пер. с англ. – Москва : Мир, 1985. – 509с.
6. Hoffman K.L. A method for globally minimizing concave functions over convex sets. - Math. Prog., 1981, 20, № 4, 22-32.
7. Заметное повышение качества связи [Електронний ресурс]. – ЗАО «Хартинг». «ИСУП». – 2011. – № 1(31). // – Режим доступу: <http://isup.ru/articles>.