УДК 681.32.03

Є.М. Чернихівський, В.В. Червенець, О.Б. Білик
Національний університет “Львівська політехніка”,
кафедра телекомунікацій

ВИЗНАЧЕННЯ ЧАСОВИХ ПАРАМЕТРІВ ОБСЛУГОВУВАННЯ ПОТОКОВОГО ТРАФІКУ З ПРІОРИТЕТНИМИ КЛАСАМИ

© *Чернихівський Є.М., Червенець В.В., Білик О.Б., 2011*

Проаналізовано результати досліджень Інтренет-трафіку, прогноз його обсягів і видів. Окреслено послуги, які генерують потоковий трафік та визначено його особливості. Розглянуто оцінку якості сприйняття послуги IP-телефонії та її залежність від параметрів QoS. Наведено математичний апарат для оцінювання часу перебування пакета в черзі з пріоритетними класами.

Ключові слова: трафік, QoS.

The article analyzes the existing research in the field of Internet traffic statistics and profile. The services that generate traffic stream and its features are outlined. The assessment of IP-telephony service perception quality and its dependence on the parameters of QoS is viewed. The mathematical model of the estimation of the time of package stay in line with the priority classes is introduced.

Key words: traffic, QoS.

Телекомунікаційні мережі стали невід'ємною частиною у веденні бізнесу, в освіті, в державному управлінні, медицині, побуті тощо. Більшість корпоративних, домашніх та мобільних мереж побудовані на основі IP-технологій. Це зумовлено можливістю передачі відео- та голосового трафіку, трафіку соціальних мереж, трафіку величезної кількості додатків, що використовують різноманітні протоколи прикладного рівня, використовуючи єдиний IP-протокол на мережевому рівні.

Інтеграція телекомунікацій в людську діяльність та технічний поступ спричинили збільшення кількості користувачів та підвищення пропускної здатності каналів доступу до мережі Інтернет, що своєю чергою призвело до збільшення обсягів інформації, яка передається в телекомунікаційних мережах. Відповідно до статистики Міжнародного союзу телекомунікацій ITU-T доступ до мережі Інтернет тепер є у кожного третього жителя планети. Це становить близько 2 млрд. користувачів[1], причому у Європі, США та країнах СНД на 100 мешканців 65, 55, та 46 мають доступ відповідно[2]. За прогнозами кампанії Ovum, до 2015 р. їхня кількість збільшиться до половини жителів планети[3].

Згідно з результатами досліджень, проведених компанією Cisco Visual Networking Index Forecast [4], тільки протягом 2011–2012 рр. об'єм Інтернет-трафіку буде щорічно збільшуватися на 46 відсотків, що становитиме приблизно 767 екзабайт, причому близько 90 % інформації становитиме відео (TV, VoD, Internet Video та P2P) [5]. Таке збільшення об’ємів трафіку пов’язане з передачею потокового HD-відео та застосувань технологій Web 2.0. Об’єм даних HD-відео і 3D TV до 2014 р. зростуть у 13 разів. Всього на частку HDTV і 3D-відео до 2014 р. прогнозують 42 % Інтернет-трафіку[6]. Популярності відео сприятиме зростання кількості широкосмугових Інтернет-каналів. За останні 10 років середня швидкість під’єднання користувачів до мережі Інтернет зросла в 35 разів: якщо в 2000 р. використовували виділені лінії на швидкості 128 Кбіт/с, то нині пропускна здатність каналів зросла до 4,4 Мбіт/с.

На основі результатів проведених досліджень компанією iPoque можна робити висновки про те, що протягом останніх років відбувається також зміна загального характеру трафіку користу-

Lviv Polytechnic National University Institutional Repository http://ena.lp.edu.ua

вачів. Користувачі віддають перевагу пошуку альтернативних шляхів отримання контенту, відмовляючись від пірінгових мереж. Станом на 2008 р. P2P-трафік становив від 43 % до 70 % всього об'єму трафіку. Відповідно до результатів дослідження більше ніж 60 % користувачів глобальної мережі періодично під'єднувалися до потокового аудіо- або відеоканалів. Потоковий трафік на етапі дослідження становив в середньому по Європі близько 30 %, на півдні Старого світу – 10 %, а на Ближньому Сході – 4,6 %. Причому спостерігалась тенденція до зростання об'ємів потокового трафіку в глобальних мережах.

Потоковий трафік – це вид трафіку, який генерується під час надання інформаційних послуг реального часу, для яких характерна критичність до параметрів мережі (затримок, втрати пакетів, джитера тощо) та відтворення (перегляд і(або) прослуховування) інформації по мірі її надходження на термінальне обладнання користувача. До послуг, які генерують цей вид трафіку, можна зарахувати: IP-телефонію; широкомовне IP-телебачення (Linear/Broadcast IPTV); перегляд відеоматеріалів з оплатою за показ(PPV); відео за замовленням (VOD); Інтернет-телебачення; дистанційне навчання; конференц-зв'язок; відеоспостереження в реальному часі; інші послуги реального часу, критичні до параметрів каналу зв'язку. Основними особливостями наведених послуг є інтерактивність, використання IP-мережі, застосування протоколів реального часу, використання механізмів пріоритетності та стабілізації часу проходження пакетів по мережі (завчасне встановлення маршрутів проходження пакетів (MPLS), резервування пропускної здатності (RSVP), оптимізація розподілу потоків навантаження по окремих напрямках мережі (ATM, MPLS)).

Для оцінювання якості надання послуг використовують показник оцінювання якості сприйняття послуг QoE (Quality of Experience), який прямо пропорційно залежить від показника якості надання сервісу QoS(Quality of Service). QoE – це суб'єктивна оцінка послуги на прикладному рівні користувачем, який користується послугою. QoS – це набір технологій мережевого та канального рівнів, використання яких дозволяють ефективніше використовувати ресурси мережі, особливо під час передавання потокових видів трафіку для забезпечення необхідного достатнього рівня QoE. Найпростішим варіантом оцінки параметра QoE може слугувати оцінка MOS. Ця оцінка є усередненим значенням оцінок кількох спостережень, отриманих на основі використання методики ITU-T з використанням п'ятибальної системи. Для оцінки QoE оцінюють такі параметри: час встановлення з'єднання; час реакції на виконання команди; завмирання зображення; розбиття зображення; синхронізацію зображення та голосу; чіткість та розбірливість звуку.

У разі оцінки QoE для послуги IP-телефонії відповідно до оцінки MOS прийнятні такі параметри**:** час встановлення з'єднання (відмінно: 1,5–4 с; добре: 4–13 с; задовільно: 7–25 с; погано: не нормовано); затримки (відмінно: менше ніж 150 мс; добре: менше ніж 250 мс (норми ETSI), менше ніж 260 мс (норми ITU-T); задовільно: менше ніж 350 мс (ETSI), менше ніж 400 мс (ITU-T); погано: більше ніж 450 мс (ETSI), більше ніж 400 мс (ITU-T)); чіткість та розбірливість звуку (відмінно: не гірше ніж G.711 (оцінка ETSI), більше ніж 4,5 (MOS); добре: не гірше ніж G.726 для 32 Кбіт/с (ETSI), 4,084-5 (MOS); задовільно: не гірше ніж GSM-FR (ETSI), 3,58–4,0 (MOS); погано: розпізнавання мови з максимальним зусиллям (ETSI), 3,0–3,58 (MOS)).

Вимірювання характеристик якості сприйняття послуг є важливою задачею для впровадження послуг реального часу з гарантуванням якості їх надання. Для реалізації послуг з прийнятним QoE необхідно дослідити вплив характеристик якості надання сервісу QoS з кінця в кінець на саму послугу, що дозволять описати закони розподілу характеристики QoS і їхній вплив на параметри QoE (час встановлення з'єднання, час реакції на виконання команди, завмирання зображення, розбиття зображення, синхронізацію зображення та голосу, чіткість та розбірливість звуку) [7]. Основними параметрами QoS під час передавання потокових видів трафіку в мультисервісних мережах є: надійність передавання – ймовірність втрати або блокування пакетів; затримка – середній час перебування пакета в системі; флуктуації – оцінка дисперсії часу очікування пакета в буфері; пропускна здатність – значення вхідного потоку, для якого забезпечується максимальне значення решти параметрів QoS.

Реалізація пріоритетних черг обслуговування пакетів на пристрої є одним з способів забезпечення сервісу необхідними параметрами мережі. Згідно з теорією масового обслуговування

Lviv Polytechnic National University Institutional Repository http://ena.lp.edu.ua

[8], якщо вважати, що кожний пріоритетний клас позначений індексом p, і $p \in (1,2,3,...P)$, тоді кожному запиту, який знаходиться в конкретний момент t, відповідатиме певна пріоритетна функція $q_p(t)$. Приймаючи рішення про вибір запиту на обслуговування, порівнюють значення пріоритетної функції для кожного з запитів, які перебувають у черзі. У найпростішому випадку $q_p(t) = p$. Якщо допустити, що потік запитів для пріоритетного класу p характеризується інтенсивністю надходження λ_p, тоді сумарний потік пакетів характеризуватиметься таким параметром інтенсивності:

$$\lambda = \sum_{p=1}^{P} \lambda_p \tag{1}$$

Середнє значення часу обслуговування кожного запиту з густиною ймовірності $b_p(x)$ приймає значення:

$$\overline{x}_p = \int_0^{\infty} x b_p(x) dx \qquad \Rightarrow \qquad \overline{x} = \sum_{p=1}^{P} \overline{x}_p \frac{\lambda_p}{\lambda} \tag{2}$$

Навантаження на систему під час оброблення запитів:

$$\rho = \sum_{p=1}^{P} \rho_p = \sum_{p=1}^{P} \lambda_p \overline{x}_p = \lambda \overline{x} \tag{3}$$

Середній час перебування запиту класу з пріоритетом *p* в системі

$$T_p = W_p + \overline{x}_p \tag{4}$$

$$W_p = W_0 + \sum_{i=1}^{P} \overline{x}_i (\overline{N}_{ip} + \overline{M}_{ip}), \quad p = 1,2,3,.....P \tag{5}$$

де W_p – середній час очікування в черзі пріоритетного класу *p;* $\overline{N}_{ip}$ – кількість запитів з пріоритетного класу *p*, які перебувають у черзі і обслуговуватимуться перед запитом, який надійшов, середнє значення затримки цієї складової дорівнює $\sum_{i=1}^{P} \overline{x}_i \overline{N}_{ip}$; $\overline{M}_{ip}$ – кількість запитів з пріоритетного класу *p*, які надійшли пізніше, але отримали обслуговування раніше, середнє значення затримки цієї складової дорівнює $\sum_{i=1}^{P} \overline{x}_i \overline{M}_{ip}$; W_0 – середня затримка пов'язана з обслуговуванням іншого запиту під час надходження запиту з пріоритетного класу *p*:

$$W_0 = \sum_{i-1}^{P} \rho_i \frac{\overline{x}_i^2}{2\overline{x}_i} = \sum_{i=1}^{P} \frac{\lambda_i \overline{x}_i^2}{2} \tag{6}$$

У найпростішому випадку, при $q_p(t) = p$:

$$\overline{N}_{ip} = 0, \quad i = 1,2,....., p-1 \tag{7}$$

$$\overline{N}_{ip} = \lambda_i W_i, \quad i = p, \ p+1, \ p+2,....., P \tag{8}$$

$$\overline{M}_{ip} = 0, \quad i = 1,2,.....p \tag{9}$$

$$\overline{M}_{ip} = \lambda_i W_p \tag{10}$$

Тоді:

$$W_p = \frac{W_0 + \sum_{i=p+1}^{P} \rho_i W_i}{1 - \sum_{i=p}^{P} \rho_i} = \frac{W_0}{(1-\delta_{p-1})(1-\delta_p)} \tag{11}$$

де $\delta_p = \sum_{i=p}^{P} \rho_i$ – сумарне навантаження створена запитами з пріоритетного класу *p*.

Lviv Polytechnic National University Institutional Repository http://ena.lp.edu.ua

Важливим завданням є вибір оптимального механізму присвоєння пріоритетів для кожного з типів запитів, закону розподілу часу очікування в черзі, а також керування часом використання обслуговуючого пристрою для кожного з пріоритетних класів. Причому, незалежно від алгоритму обслуговування черг, працює закон збереження часу обслуговування черг[9].

Математична модель досліджуваної мережі (може бути як аналітичною, так і імітаційною) апроксимує її властивості і поведінку, що дозволяє розв'язувати задачі з оптимізації і управління мережею, з метою досягнення прийнятних параметрів QoE. Також, за допомогою моделі можлива апробація тих чи інших рішень, що значно дешевше ніж на реальній системі. З цією метою доцільнішим є розроблення і використання імітаційних моделей, які можуть адекватніше відображати логіку і особливості функціонування реальних складних систем. Вартість проектування мережі в такому разі залежить від інструментальних засобів моделювання, що використовуються для реалізації моделей мережі. Для розв'язання таких задач на ринку є достатньо велика кількість як комерційних, так і відкритих програмних продуктів. До комерційних продуктів можна зарахувати такі, як: Comnet3, Bones Designer, Opnet Modeler, AnyLogic. Вартість таких продуктів коливається в межах 10–30 тис. у.о. Одним з найпоширеніших відкритих продуктів, які використовуються для імітаційного моделювання, є пакет Network Simulator 2 (ns2). Емулятор ns2 серед аналогічних продуктів є найбільше пристосованим засобом для проведення наукових досліджень у галузі комп'ютерних мереж. Простота використання програмного засобу, багатоплатформеність, широкі можливості та вільне розповсюдження роблять продукт ns2 достатньо конкурентноспроможним.

Отже, як свідчать результати досліджень, проведених у компаніях Cisco та iPoque, відбувається стрімке зростання обсягів даних, які передаються в мережі Інтернет. Причому основну частину цих даних становить відео, яке все більше передається в потоковому режимі. Тобто, спостерігається поступовий відхід від, так званого, пірінгового способу передавання контенту до перегляду контенту в онлайн-режимі.

З точки зору кінцевого користувача, якість сервісу оцінюється з використанням параметрів QoE, які взаємопов'язані з параметрами QoS, зокрема з часом очікування пакета в черзі з пріоритетами обслуговування. Одним з механізмів забезпечення необхідних параметрів QoS для сервісу є використання черг з пріоритетами обслуговування. Важливим завданням є розв'язання задач пошуку оптимального механізму присвоєння пріоритетів для кожного з типів запитів, закону розподілу часу очікування в черзі, а також керування часом використання обслуговувального пристрою для кожного з пріоритетних класів.

1. http://net.compulenta.ru/589899/ 2. http://www.itu.int/ITU-D/ict/material/FactsFigures2010.pdf http://www.telecomtv.com/comspace_newsDetail.aspx?n=47188&id=e9381817-0593-417a-8639-c4c53e2a 2a10# 3. http://www.cisco.com/en/US/netsol/ns827/networking_solutions_sub_solution.html #forecast 4. http://www.techradar.com/news/internet/90-of-web-traffic-to-be-video-by-2014-693867 5. http://soft.mail. ru/pressrl_page.php?id=39871 6. Чернихівський Є.М., Кирик М.І., Романчук В.І., Червенець В.В. Оцінка і управління якістю сприйняття послуги (QOE) в телекомунікаційних мережах // Вісник Нац. ун-ту "Львівська політехніка" "Радіоелектроніка і телекомунікації". – № 680. – Львів: 2010. – С. 132–135. 7. Крылов В.В., Самохвалова С.С. Теория телетрафика и ее приложения. – СПб.: БХВ-Петербург, 2005. – 288 с. 8. Наумов В.А., Самуйлов К.Е., Яркина Н.В. Теория телетрафика мультисервисных сетей // М.: РУДН, 2007.

Lviv Polytechnic National University Institutional Repository http://ena.lp.edu.ua