

УДК: 681. 324 : 621.325

Г.А. Кучук<sup>1</sup>, Ю.В. Паржин<sup>2</sup>, І.І. Сидоренко<sup>1</sup><sup>1</sup>Харківський університет Повітряних Сил ім. І. Кожедуба, Харків<sup>2</sup>Національний технічний університет «ХПІ», Харків

## КОНВЕРГЕНЦІЯ РІЗНОРІДНОГО ТРАФІКА В ІНФОРМАЦІЙНО-ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЙНИХ МЕРЕЖАХ

У статті розглянутий процес конвергенції різнорідного трафіка окремих служб інформаційно-телекомунікаційних мереж, запропоновані математичні моделі даного процесу, які базуються на ефектах об'єднання одноканальних систем масового обслуговування. При цьому встановлено, що конвергований трафік інформаційно-телекомунікаційних мереж має властивість довготривалої залежності та виявляє фрактальний характер.

**Ключові слова:** інформаційно-телекомунікаційна мережа, конвергенція трафіка, одноканальна система масового обслуговування, довготривала залежність, фрактальний характер трафіка.

### Вступ

Телекомунікаційні технології, як і будь-який інший технічний процес, змінюються під впливом вимог навколишнього світу. Основними цілями цих змін, природно, є поліпшення якості і збільшення спектру надаваних інфотелекомунікаційних послуг при виправданих витратах на модернізацію або побудову мережі. Серед основних змін, що відбуваються в даний час, можна відзначити використання технології all-over-IP (все по IP) з конвергенцією різнорідного трафіку в рамках єдиної IP-мережі, підвищення вимог до швидкості передачі на всіх ділянках мережі, а також виникнення потреби користувачів в декількох видах доступу до мережі (телефонія, передача даних тощо). Оскільки побудова окремих мереж для голосу, відео і даних дорого і неефективно, то основна тенденція фірм-розробників на сьогодні зводиться до прагнення створити універсальне середовище передачі для різних типів трафіку за рахунок конвергенції його різних видів, що дозволить понизити вартість смуги пропускання каналів зв'язку, об'єднає телефонію і Web-комерцію, а засоби бездротового зв'язку значно поліпшать взаємодію між мережами.

Вимоги, що пред'являються до сучасних інформаційно-телекомунікаційних систем, зводяться до забезпечення високоякісної передачі, розподілу, зберігання та перетворення різнорідної інформації, високого ступеню гнучкості її подальшого розвитку, можливості управління з боку користувача, оперативного отримання від мережі відповідних реакцій, об'єднання і розподілу ресурсів. Існуючі мережі зв'язку, що були створені на традиційних принципах електрозв'язку, не дозволяють при допустимих фінансових витратах забезпечити ці вимоги. Інтеграція різних видів зв'язку (телеграфного, телефонного, передачі даних та ін.) та поява нових мереже-

вих технологій призвели до створення інформаційно-телекомунікаційних мереж (ІТМ) – єдиної телекомунікаційної інфраструктури, що переносить або комутує інформаційний трафік будь-якого типу, який, в свою чергу, створюється взаємодією користувачів та постачальників послуг зв'язку із контролюємими та гарантованими параметрами трафіка, рівнями якості та конфіденційності для кожного виду послуг [1, 2].

Система комутації ІТМ при обслуговуванні виклику, залежно від виду інформації повинна з'єднувати між собою одночасно деяку кількість ( $i$ ) каналів ( $1 \leq i \leq V$ ,  $V$  – кількість каналів у напрямку зв'язку), що призводить до подальшого ускладнення механізмів управління телекомунікаційною мережею. Із цього виходить, що у разі перевантаження мережі може з'являтися додаткова нелінійність [3]. Важливо відзначити, що в подібних ситуаціях можуть виникати дуже складні взаємозв'язки між флуктуаціями робочого навантаження і різними мережевими механізмами управління. Ці взаємодії представляють як потенційну причину виникнення фрактальної структури трафіка в ІТМ [4]. На сьогодні, не дивлячись на значну кількість як теоретичних, так і експериментальних робіт, присвячених телекомунікаційному трафіку, який має фрактальну структуру [3 – 7, 11], проблема моделювання процесів конвергенції декількох інформаційних потоків в узагальнений трафік, а також процесу передачі такого трафіку незалежним споживачам вирішена лише в найпростіших окремих випадках. Тому моделювання процесу конвергенції трафіка ІТМ є *актуальною* науковою задачею.

**Метою даної статті** є математичне моделювання процесу конвергенції різнорідного трафіка ІТМ, що базується на процесах об'єднання одноканальних систем масового обслуговування типу  $M/M/1/\infty$  в багатоканальну систему масового обслуговування.

### Результати досліджень

Будемо розглядати процеси, що відбуваються в інформаційно-телекомунікаційних мережах при одночасному обслуговуванні скінченного числа каналів і споживачів. Для проведення таких досліджень будемо розглядати ефекти об'єднання одноканальних систем масового обслуговування (СМО) типу  $M/M/1/\infty$  в багатоканальну систему. Добре відомі моделі телекомунікаційного трафіка, що створені на основі теорії масового обслуговування з пріоритетами [6, 7]. Ці моделі дозволяють враховувати деякі специфічні особливості фрактального трафіка, такі як існування кластеризації і несталість характеристик у всіх часових масштабах. Крім того, фрактальний трафік добре описується повільно затухаючими розподілами (наприклад, розподіл Парето, Вейбулла, логонормальний, гіперекспоненціальний). Надалі будуть розглянуті стохастичні моделі, функціонування яких описується дискретними марківськими процесами. Це дозволяє скористатися відомими формулами для стаціонарних розподілів процесу загибелі та народження, а також мультиплікативною теоремою для мереж Джексонавського типу. Однак, для цих, на перший погляд, «простих» моделей, завдання вивчення конвергенційних ефектів є новим і служить джерелом цілого ряду нових результатів.

Проведемо дослідження системи масового обслуговування, одержаної із однакових або різних одноканальних СМО типу  $M/M/1/\infty$  шляхом їх об'єднання в багатоканальну СМО.

#### 1. Об'єднання однаковопотужних каналів.

Об'єднуючи однаковопотужні одноканальні СМО типу  $M/M/1/\infty$  певним способом, побудуємо СМО, у якій стаціонарна довжина черги і час релаксації є суттєво меншим, ніж у її складових. Проведемо дослідження впливу способу комутації на показники ефективності сконструйованих систем, виявляючи конвергенційні ефекти. Нехай  $X_1, X_2, \dots$  – послідовність незалежно працюючих систем масового обслуговування типу  $M/M/1/\infty$ , що мають інтенсивність вхідного потоку  $\lambda$  та інтенсивність обслуговування  $\mu$ , та задовольняють умові ергодичності  $\rho = \lambda / \mu < 1$ .

Побудуємо із заданих  $n$  елементів послідовності таку систему обслуговування  $S$ , в якій стаціонарна довжина черги  $a(S)$  і характерний час релаксації (встановлення стаціонарного режиму)  $\tau(S)$  задовольняють нерівностям  $a(S) \leq A$ ;  $\tau(S) \leq T$ , де  $A, T$  – деякі позитивні числа, менші, ніж аналогічні показники  $a(X_1)$ ,  $\tau(X_1)$  елементів початкової послідовності (така двокритеріальна постановка задачі стала можливою лише після виявлення деяких комутаційних ефектів в СМО [8, 9], що підказують правила синтезу).

Розглянемо об'єднання  $n$  незалежних однолінійних систем масового обслуговування  $X_1, \dots, X_n$

в багатолінійну систему  $S_n$  типу  $M/M/n/\infty$ , надану на рис. 1 (стрілки зображують вхідні і вихідні потоки, вузли – обслуговуючі прилади з чергами, прямокутник – багатоканальну систему із спільною чергою).

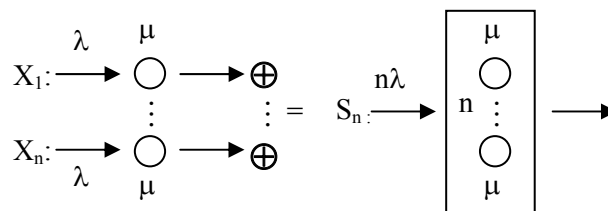


Рис. 1. Конвергенція незалежних однолінійних СМО в багатолінійну систему

Операцію комутації, що задана в цьому випадку, запишемо у вигляді формули:  $S_n = X_1 \oplus \dots \oplus X_n$ . Оскільки виконані умови ергодичності (1) систем  $X_1, \dots, X_n, S_n$ , то при деяких позитивних  $C$  та  $\alpha$  стаціонарна середня довжина черги  $a(S_n)$  в системі  $S_n$  задовольняє нерівності

$$a(S_n) \leq C e^{-\alpha n}. \quad (1)$$

Розглянемо тепер об'єднання систем  $X_1, \dots, X_n$  в наступну систему  $\Sigma_n$  типу  $M/M/1/\infty$ , зображену на рис. 2.

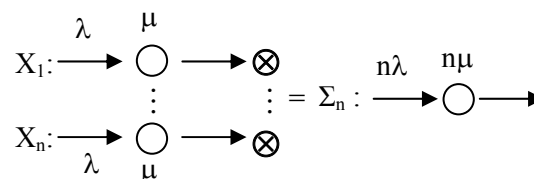


Рис. 2. Конвергенція незалежних однолінійних СМО в систему типу  $M/M/1/\infty$

Задану в цьому випадку операцію комутації запишемо у вигляді формули  $\Sigma_n = X_1 \otimes \dots \otimes X_n$ .

При виконанні умови (1) стаціонарна середня довжина черги  $a(\Sigma_n)$  в системі  $\Sigma_n$  задовольняє такому співвідношенню:

$$a(\Sigma_n) \equiv a(X_1) < \infty. \quad (2)$$

Тепер з'ясуємо, як впливає тип комутації на час релаксації. З аналізу часу релаксації  $\tau(S_n)$  системи  $S_n$  та співвідношень (1), (2) витікає, що комутація систем  $X_1, \dots, X_n$  за типом « $\oplus$ » призводить до геометричної збіжності до нуля стаціонарної середньої довжини черги при  $n \rightarrow \infty$ , а комутація  $X_1, \dots, X_n$  за типом « $\otimes$ » жодного впливу на середню довжину черги не має. Справедливо і зворотнє, що комутація систем  $X_1, \dots, X_n$  за типом « $\oplus$ », по суті, на час релаксації не впливає, а комутація  $X_1, \dots, X_n$  за типом « $\otimes$ » призводить до зменшення часу релаксації до нуля із швидкістю порядку біля  $1/n$ ,  $n \rightarrow \infty$ .

Якщо система обслуговування  $S_n^m$  синтезована із  $N = nm$  систем типу  $M/M/1/\infty$ , то маючи достатньо

велику кількість  $N$  початкових систем обслуговування та використовуючи способи комутації « $\oplus$ », « $\otimes$ », можна синтезувати із них таку систему, у якій і час релаксації, і стаціонарна середня довжина черги будуть досить малими.

Характерною особливістю більшості відомих СМО є збільшення середнього часу очікування заявки в черзі (середньої довжини черги) із зростанням завантаження системи. У нашому випадку, коли із зростанням числа екземплярів  $n$  систем  $M/M/1/\infty$ , що об'єднуються в систему  $S_n$ , завантаження зростає, характер поведінки системи нагадує за своєю суттю фазовий перехід у фізичних системах.

**2. Об'єднання різнопотужних каналів.** Дотепер ми розглядали оцінку ефективності об'єднання однакових одноканальних систем в багатоканальну систему масового обслуговування. У цій частині статті проведемо дослідження двоканальної системи масового обслуговування, одержаної в результаті об'єднання систем типу  $M/M/1/\infty$  з однаковими коефіцієнтами завантаження, але різними швидкостями обслуговування.

Позначимо через  $X', X''$  – інтенсивності вхідних потоків,  $\mu', \mu''$  – інтенсивності обслуговування в початкових одноканальних системах. Тоді інтенсивність вхідного потоку  $\lambda$  дорівнює  $\lambda' + \lambda''$ . Позначимо і припустимо, що коефіцієнт завантаження дорівнює  $\rho = \lambda'/\mu' = \lambda''/\mu'' = \lambda/\mu$  ( $\mu$  – інтенсивність обслуговування вхідного потоку). Неважко довести [10], що при  $\rho < 1$  марківський процес  $i(t)$  ( $i(t) = 0$  – немає заявок;  $i(t) = 1'$  – одна заявка, обслуговується першим каналом;  $i(t) = 1''$  – одна заявка, обслуговується другим каналом) має граничний розподіл, що задовольняє такій системі лінійних рівнянь:

$$\begin{cases} \lambda p(0) = \mu' p(1') + \mu'' p(1''); \\ (\lambda + \mu') p(1') = \lambda' p(0) + \mu'' p(2); \\ (\lambda + \mu'') p(1'') = \lambda'' p(0) + \mu' p(2); \\ (\lambda + \mu) p(2) = \lambda (p(1') + p(1'')) + \mu p(3); \\ (\lambda + \mu') p(i) = \lambda p(i-1) + \mu p(i+1); \quad i = 3, 4, \dots; \\ p(0) + p(1') + p(2) + p(3) + \dots = 1. \end{cases} \quad (3)$$

Введемо такі позначення:

$$\alpha = \mu'/\mu = \lambda'/\lambda; \quad B = p(0) + p(1') + p(1'');$$

$$\beta = \mu''/\mu = \lambda''/\lambda; \quad A = p(1')/p(1'')$$

і проведемо дослідження системи рівнянь (3). Величина  $A$  характеризує відмінність в стаціонарній ймовірності завантаження окремих каналів, а величина  $B$  характеризує стаціонарну ймовірність відсутності очікування для заявки, що знов надійшла до об'єднаної системи. При цьому за фіксованим  $\alpha$ ,  $1/2 < \alpha < 1$ , є вірною монотонна збіжність  $A \downarrow (1 - \alpha^2) / (\alpha(2 - \alpha))$  при  $\rho \uparrow 1$ , а при фіксованому  $\rho$ ,  $0 < \rho < 1$ , справедлива збіжність  $A \rightarrow 0$  при  $\alpha \rightarrow 1$ . Іншими словами, в об'єднаній двоканальній

системі більш потужний канал є менш завантаженим, ніж інший. Цей ефект посилюється при збільшенні коефіцієнта завантаження  $\rho$  і при спрямованості коефіцієнта  $\alpha$  до одиниці. Таким чином, стаціонарна ймовірність  $B$  відсутності очікування збільшується із зменшенням відмінності каналів за потужністю.

## Висновки

Експериментальний аналіз ефектів конвергенції згідно запропонованих схем трафіка окремих служб інформаційно-телекомунікаційних мереж при великому числі об'єднаних систем або при їх високому завантаженні показав, що можна говорити про сильну взаємодію між об'єднаними окремими процесами. В результаті проведених досліджень встановлено, що:

– модель трафіка ІТМ, яка базується на конвергенції одноканальних СМО типу  $M/M/1/\infty$  в багатоканальну систему, достатньо вірогідно відображає реальні трафікові процеси;

– трафік, який був одержаний в результаті моделювання, по-перше, володіє властивістю довготривалої залежності (гіперболічна залежність основних параметрів об'єданого трафіка), і, по-друге, ймовірно, володітиме властивістю масштабною інваріантності, що, у свою чергу, можна розглядати як доказ фрактального характеру змодельованого трафіка.

**Подальші дослідження** планується проводити щодо імітаційного моделювання запропонованої моделі конвергенції трафіка окремих служб інформаційно-телекомунікаційних мереж.

## Список літератури

1. Кучук Г.А., Гахов Р.П., Пашиев А.А. Управление ресурсами инфотелекоммуникаций. – М.: Физматлит, 2006. – 220 с.
2. Телекоммуникационные системы и сети: Учебн. пос. В 3-х т. Т. 3. Мультисервисные сети / В.В. Величко, Е.А. Субботин, В.П. Шувалов, А.Ф. Ярославцев, под ред. В.П. Шувалова. – М.: Горячая линия – Телеком, 2005. – 592 с.
3. Li G.L., Dowd W.D. An Analysis of Network Performance Degradation Induced by Workload Fluctuations // IEEE/ACM Transactions on Networking. – 1995. – Vol. 3, No. 4. – P. 163-171.
4. Erramili A., Narayan O., Willinger W. Experimental queueing analysis with long-range dependent packet traffic // IEEE/ACM Transactions on Networking. – 1996. – Vol. 4. – P. 209-223.
5. Фрактальный анализ процессов, структур и сигналов: Коллективная монография // Г.А. Кучук, А.А. Можжаев, Р.Э. Пащенко и др. – Х.: Эко-Перспектива, 2006. – 360 с.
6. Лосев Ю.И., Руккас К.М. Анализ системы массового обслуживания с приоритетами с учетом фрактальности входного трафика // Радиотехника. – Х.: ХТУРЭ, 2006. – Вып. 146. – С. 189-195.
7. Кучук Г.А., Можжаев О.О., Воробйов О.В. Метод прогнозирования фрактального трафика // Радиоэлектронні і комп'ютерні системи. – 2006. – № 6 (18). – С. 181-188.
8. Гургенідзе А.Т., Кореш В.И. Мультисервисные сети и услуги широкополосного доступа. – М.: Наука и техника, 2003. – 400 с.

9. *Cyberinfrastructure Vision for 21<sup>st</sup> Century Discovery, National Science Foundation Cyberinfrastructure Council, March 2007 [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.nsf.gov/pubs/2007/nsf0728/nsf0728.pdf>.*

10. Королев А.В., Кучук Г.А., Пашиев А.А. *Адаптивная маршрутизация в корпоративных сетях.* – Х.: ХВУ, 2003. – 224 с.

11. Масич Г.Ф., Масич А.Г. *Инфраструктура ВОЛС корпоративной сети ПНЦ УрО РАН: проблемы, состоя-*

*ние и перспективы.* // Тез. докл. XII конференции представителей региональных научно-образовательных сетей "RELARN-2005". – Нижний Новгород, 2005. –С. 38-41.

Надійшла до редколегії 29.09.2008

**Рецензент:** д-р техн. наук, проф. І.І. Обод, Національний технічний університет «ХПІ», Харків.

#### КОНВЕРГЕНЦИЯ РАЗНОРОДНОГО ТРАФИКА В ИНФОРМАЦИОННО-ТЕЛЕКОММУНИКАЦИОННЫХ СЕТЯХ

Г.А. Кучук, Ю.В. Паржин, И.И. Сидоренко

*В статье рассмотрен процесс конвергенции разнородного трафика отдельных служб информационно-телекоммуникационных сетей, предложены математические модели данного процесса, которые базируются на эффектах объединения одноканальных систем массового обслуживания. При этом установлено, что конвергируемый трафик информационно-телекоммуникационных сетей обладает свойством долговременной зависимости и имеет фрактальный характер.*

**Ключевые слова:** информационно-телекоммуникационная сеть, конвергенция трафика, одноканальная система массового обслуживания, долговременная зависимость, фрактальный характер трафика.

#### CONVERGENCE OF HETEROGENEOUS TRAFFIC IN THE INFORMATIVELY-TELECOMMUNICATIONS NETWORKS

G.A. Kuchuk, Ju.V. Parzhin, I.I. Sidorenko

*The process of convergence of heterogeneous traffic of separate services of networks of informatively-telecommunications is considered in the article, the mathematical models of this process, which are based on the effects of uniting the single-channel queuing systems, are offered. It is thus set that the convergence traffic of networks of informatively-telecommunications possesses property of long duration dependence and has fractal character.*

**Keywords:** informatively-telecommunication network, convergence of traffic, single-channel queuing system, of long duration dependence, fractal character of traffic.