

УДК: 681. 324 : 621.325

Г.А. Кучук, О.О. Можаяєв

Харківський університет Повітряних Сил ім. І. Кожедуба, Харків

## МОДЕЛЮВАННЯ ПРОЦЕСУ КОНВЕРГЕНЦІЇ ТРАФІКА ОКРЕМИХ СЛУЖБ МУЛЬТИСЕРВІСНИХ МЕРЕЖ

*Розглянутий процес конвергенції трафіка окремих служб мультисервісних мереж, запропоновані математичні моделі трафіка, які базуються на ефектах об'єднання одноканальних систем масового обслуговування, встановлено, що конвергований трафік має властивості довготривалої залежності та фрактальний характер.*

*конвергенція трафіка, мультисервісна мережа, одноканальна система масового обслуговування*

### Вступ

Вимоги, що пред'являються до сучасних 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 електров'язку, не дозволяють при допустимих фінансових витратах забезпечити ці вимоги. Інтеграція різних видів зв'язку (телеграфного, телефонного, передачі даних та ін.) та поява нових мережних технологій призвела до створення мультисервісних мереж (МСС) – єдиної телекомунікаційної інфраструктури, що переносить або комутує 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 МСС 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 МСС [4]. На сьогодні, не дивлячись на значну кількість як теоретичних, так і експериментальних робіт, присвячених телекомунікаційному трафіку, який має фрактальну структуру [3 – 7], 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 створення адекватної математичної моделі процесу конвергенції трафіка МСС дотепер є **актуальною** науковою задачею.

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

### 1. Початкові припущення

Будемо розглядати процеси, що відбуваються в мультисервісних 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 марківським 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.

### 2. Об'єднання однаковопотужних каналів

Об'єднуючи однаковопотужні одноканальні СМО типу  $M/M/1/\infty$  певним способом, побудуємо СМО, у якої 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

$$\rho = \frac{\lambda}{\mu} < 1. \tag{1}$$

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 таким нерівностям:

$$a(S) \leq A; \tau(S) \leq T,$$

де  $A, T$  – деякі позитивні числа, менші, ніж аналогічні показники  $a(X_i), \tau(X_i)$  елементів початкової

послідовності (така двокритеріальна постановка задачі стала можливою лише після виявлення деяких комутаційних ефектів в СМО [8], 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).

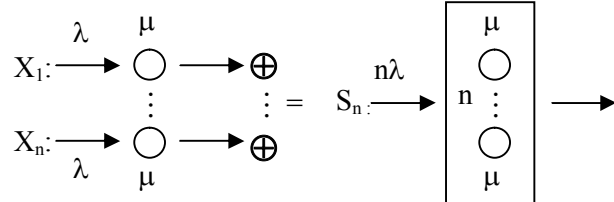


Рис. 1. Конвергенція незалежних однолінійних СМО в багатолінійну систему

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

$$a(S_n) \leq C e^{-\alpha n}. \tag{2}$$

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

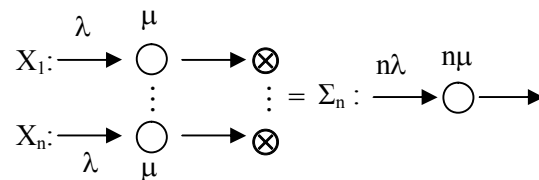


Рис. 2. Конвергенція незалежних однолінійних СМО в систему типу  $M/M/1/\infty$

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:

$$a(\Sigma_n) \equiv a(X_1) < \infty. \tag{3}$$

Тепер з'ясуємо, як впливає тип комутації на час релаксації. З аналізу часу релаксації  $\tau(S_n)$  системи  $S_n$  та співвідношень (2), (3) 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 зворотне, 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 убування 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.

### 3. 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  $\rho = \lambda'/\mu' = \lambda''/\mu'' = \lambda/\mu$ .

Неважко довести [9], що при  $\rho < 1$  марківський процес  $i(t)$  має граничний розподіл, що задовольняє такій системі лінійних рівнянь:

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

Введемо наступні позначення:

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

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

$$B = p(0) + p(1') + p(1'')$$

і проведемо дослідження системи рівнянь (4). 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 мультисервісних мереж при великому числі об'єднуваних систем або при їх високому завантаженні показав, що можна говорити про сильну взаємодію між об'єднуваними окремими процесами. В результаті проведених досліджень встановлено, що:

- модель трафіка МСС, 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 мультисервісних мереж з використанням апарату нейродинамічного прогнозування.

### Список літератури

1. Кучук Г.А., Гахов Р.П., Пашинов А.А. Управление ресурсами инфотелекоммуникаций. – М.: Физматлит, 2006. – 220 с.
2. Телекоммуникационные системы и сети: Учеб. 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. Можяев, 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., Можяев О.О., Воробйов О.В. Метод прогнозування фрактального трафіка // Радіоелектронні і комп'ютерні системи. – 2006. – № 6 (18). – С. 181-188.

8. Гургенидзе А.Т., Кореш В.И. Мультисервисные сети и услуги широкополосного доступа. – М.: Наука и техника, 2003. – 400 с.

9. Королев А.В., Кучук Г.А., Пашинев А.А. Адаптивная маршрутизация в корпоративных сетях. – Х.: ХВУ, 2003. – 224 с.

*Надійшла до редколегії 1.03.2007*

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