

## **МОДЕЛЮВАННЯ СТРУКТУРНО-ФУНКЦІОНАЛЬНИХ ПАРАМЕТРІВ СИСТЕМИ РОЗПОДІЛУ МУЛЬТИСЕРВІСНОГО ТРАФІКУ**

The simulation modeling method of structural and functional features of multiservice traffic distribution system had been proposed with auto hold. The algorithm had been designed for prediction purpose.

### **Вступ**

Сучасний етап розвитку інфокомунікаційних мереж ставить нові задачі дослідження та моделювання систем розподілу інформації в умовах мульти-сервісного трафіку.

Задача оцінки розміру буфера системи розподілу інформації виникає на етапі проектування мереж зв'язку і вибору мережевих пристроїв для задовільного обслуговування абонентів, а також під час функціонування мережі з метою динамічного управління чергами. В даній роботі для її вирішення розроблена імітаційна модель, яка служить для проектувальника інструментом вибору параметрів мережевого обладнання. Дана задача розв'язується не у реальному масштабі часу.

Способи вирішення цієї задачі широко описані як вітчизняними, так і зарубіжними вченими. В роботах [1, 3, 4] запропоновано методи прогнозування розміру буфера на основі моделювання, проте в них не враховано статистичні особливості реального трафіка. Робота [2] присвячена управлінню чергами в реальному масштабі часу. Основна перевага запропонованого в даній статті методу полягає у врахуванні властивостей реального мультисервісного трафіка. В результаті можна очікувати вищу адекватність отриманих результатів моделювання, ніж в роботах, які не враховують самоподібність трафіка мультисервісних мереж.

Як показали дослідження [5], трафік мультисервісних мереж достатньо добре може бути описаний з використанням самоподібних процесів (або процесів з повільно зменшуваною залежністю між сусідніми значеннями випадкової величини). Суттєва проблема полягає в тому, що самоподібні процеси важко математично формалізувати, відповідно отримання аналітичних виразів для опису станів системи з самоподібним трафіком є складним з точки зору обчислень завданням. В роботах [6-7] запропоновано для моделювання та дослідження систем із самоподібним трафіком скористатись відомими залежностями для добре досліджених систем масового обслуговування на основі наближення певних характеристик функцій розподілів самоподібної та добре формалізованих моделей трафіка.

Інший підхід, який висвітлюється в [8] та користується все більшою популярністю полягає у моделюванні самоподібного трафіка та подальшому дослідженні функціонування системи обслуговування такого трафіка на основі розроблених моделей. В роботі пропонується підхід до прогнозування розміру буфера системи розподілу мультисервісного трафіку на основі методу статистичного імітаційного моделювання.

### 1. Загальна характеристика методу автозупинки

Суть методу автозупинки полягає у перериванні функціонування моделі при досягненні певної точності отриманих результатів.

Для вирішення задачі знаходження моменту зупинки роботи моделі запропоновано ввести параметр «коефіцієнт варіації 2-го порядку», який характеризує осциляцію залежності коефіцієнта варіації інтенсивності надходження пакетів від тривалості моделювання.

Чим нижче значення коефіцієнту варіації другого порядку отримане, тим більша точність результатів моделювання досягається. В даній роботі достатнім вважається значення цього коефіцієнта, близьке до 1%. При цьому проведена кількість експериментів є достатньою для визначення розміру буфера системи розподілу мультисервісного трафіка з точністю, яка відповідає коефіцієнту варіації 1-го порядку. Також є можливість змінювати значення згаданого параметру для управління модельним часом та кількістю проведених експериментів.

### 2. Спосіб визначення параметру Херста числового дискретного ряду

В проведених дослідженнях для визначення ступеня самоподібності трафіку використовувався параметр Херста, що приймає наступні значення:

- $0 \leq H \leq 0,5$  – випадковий процес є антиперсистентним (ергодичним) рядом, який не володіє самоподібністю;
- $H = 0,5$  – повністю випадковий ряд, аналогічний до випадкових зміщень частинки при класичному броунівському русі;
- $H > 0,5$  – персистентний процес (такий, що самопідтримується), який володіє довготривалою пам'яттю і є самоподібним.

Для оцінки значення параметру Херста випадкового ряду є багато методик. Найпростішою з них є RS-методика, яка, проте, має обмеження на застосування до процесів з малою дисперсією. Однак для потреб задачі, вирішення якої пропонується в роботі, дана методика може бути використана. Її суть полягає в наступному:

Визначається математичне сподівання випадкового ряду  $X_k$  ( $k = 1..N$ ):

$$M_N = \frac{1}{N} \sum_{k=1}^N X_k \cdot \quad (1)$$

Визначається дисперсія вибірки:

$$S_N^2 = \frac{1}{N} \sum_{k=1}^N (X_k - M)^2 \cdot \quad (2)$$

Визначається інтегральне відхилення:

$$D_j = \sum_{k=1}^j X_k - jM, \quad j \in [1; N]. \quad (3)$$

Визначається рознесення випадкового процесу:

$$R_N = \max_{1 \leq j \leq N} D_j - \min_{1 \leq j \leq N} D_j. \quad (4)$$

З встановленого Херстом співвідношення:

$$\frac{R}{S} \approx \left( \frac{N}{2} \right)^H \quad (5)$$

визначається параметр Херста  $H$ :

$$H = \frac{\log\left(\frac{R}{S}\right)}{\log\left(\frac{N}{2}\right)}. \quad (6)$$

### 3. Алгоритм моделювання та прогнозування розміру буфера

В роботі запропоновано використати метод імітаційного статистичного моделювання для генерації трафіку, характерного для мультисервісних мереж. В ході імітаційного моделювання основна увага приділялась голосовому трафіку, а також трафіку відеоконференцій, тому довжина пакетів вибрана на інтервалі від 64 до 1500 байтів (розподілена за рівномірним законом на основі припущення про рівноімовірне використання всіх наявних сервісів, які можуть генерувати пакети, що входять в заданий діапазон довжин пакетів); інтервали між пакетами згенеровано випадковими згідно моделі fBM (фрактальний броунівський рух) з параметром Херста  $H = 0,7$ . Вибрано розподіл модельного часу з постійним кроком. Значення кроку – 1мс. Пропускна здатність прямого каналу вибрана рівною 100 Мбіт/с. Кількість пакетів, що задіяні в процесі моделювання, встановлено рівною 200 000. Передбачено, що не обов'язково всі згенеровані пакети будуть необхідні для формування профілю трафіку (їх кількість визначається коефіцієнтом варіації 2-го порядку, який необхідно досягнути). За 1 мс встигає згенеруватись певна кількість пакетів. За кожний такий період визначається інтенсивність надходження пакетів  $\lambda = K_{\text{пак}} / 10^{-3}$ . Суть запропонованого підходу показано на рис.1.

За один крок моделювання в буфер надходить  $K$  пакетів. Інтенсивність обслуговування  $\mu$  цих пакетів встановлено не меншою, ніж середня інтенсивність надходження пакетів за спостережуваний період часу (на даному етапі дослідження  $\mu$  приймається постійним). Тривалість періоду спостереження визначається на основі обчислення коефіцієнтів варіації та застосування методу автозупинки.

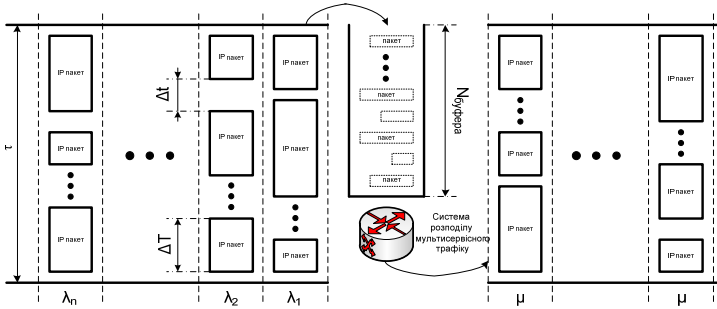


Рис. 1. Модель системи обслуговування мультисервісного трафіку

$\tau$  – інтервал моделювання;

$\lambda_i$  – інтенсивність поступлення пакетів на  $i$ -ому інтервалі моделювання;

$\Delta T$  – тривалість одного пакету (змінна величина);

$\Delta t$  – тривалість інтервалу між пакетами;

$N_{буфера}$  – розрахований розмір буфера;

$\mu$  – інтенсивність обслуговування пакетів.

Коефіцієнт варіації 1-го порядку визначається як відношення середнього квадратичного відхилення інтенсивності надходження пакетів до математичного очікування цієї ж величини:

$$K_v^I = \frac{S_\lambda}{M_\lambda}. \quad (7)$$

Даний коефіцієнт характеризує статистичний розподіл значень інтенсивності надходження пакетів.

Для адекватного прогнозування розміру буфера необхідно встановити момент, коли проведення додаткових експериментів не суттєво впливає на похибку прогнозування, що визначається коефіцієнтом варіації 1-го порядку і залежить від статистичних властивостей синтезованого трафіку. Для вирішення цієї задачі в роботі запропоновано використовувати коефіцієнт варіації другого порядку, який характеризує осциляцію залежності коефіцієнта варіації першого порядку від тривалості моделювання:

$$K_v^{II} = \frac{S_{K_v^I}}{M_{K_v^I}}, \quad (8)$$

де  $S_{K_v^I}$  – середнє квадратичне відхилення коефіцієнту варіації першого порядку;  $M_{K_v^I}$  – середнє значення коефіцієнту варіації першого порядку (він є змінною величиною в процесі моделювання. Зі збільшенням кількості експериментів його осциляція зменшується).

При досягненні вищезгаданим коефіцієнтом заданого значення (при проведенні моделювання встановлено на рівні 1 %) можна вважати, що проведення додаткових експериментів не суттєво позначиться на зміні значення коефіцієнту варіації першого порядку, тобто можна стверджувати, що отримані результати і подальші розрахунки на їх основі характеризуються похибкою, яка рівна значенню коефіцієнта варіації інтенсивності надходження пакетів, тобто статистична оцінка розміру буфера обмежується дисперсією профілю трафіку.

Визначення прогнозованого розміру буфера [6-7] на основі отриманих результатів моделювання здійснюється за формулою:

$$N(M_\lambda, H) = \frac{M_\lambda \left( \frac{M_\lambda}{\mu} \right)^{\frac{H-0,5}{1-H}}}{\mu \left( 1 - \frac{M_\lambda}{\mu} \right)^{\frac{H}{1-H}}} \quad (9)$$

Також оцінку розміру буфера можна проводити за формулою Норрса [8], проте її застосування для даного дослідження обмежується тим, що вона виведена для нормального закону розподілу Гауса. Для визначення розміру буфера запишемо формулу Норрса у наступному вигляді:

$$B = \left[ \frac{\left[ H^H (1-H)^{1-H} \sqrt{-2 \ln(p)} \right]^{1/H} a^{1/2H} m^{1/2H}}{C - m} \right]^{H/(1-H)}, \quad (10)$$

де  $B$  – розмір буфера (біт),  $H$  – параметр Херста профілю трафіку,  $p$  – імовірність втрати пакету, яку необхідно забезпечити,  $C$  – пропускна здатність прямого каналу (біт/с),  $m$  – швидкість поступлення пакетів (біт/с),  $a$  – коефіцієнт варіації швидкості поступлення пакетів (біт/с).

Алгоритм моделювання та прогнозування розміру буфера наведено на рис. 2. Генерується вхідний потік пакетів та встановлюється початкове значення коефіцієнту варіації  $\Pi$  порядку. Наступний логічний оператор перевіряє, чи досягнув коефіцієнт варіації  $\Pi$  порядку заданого значення (1 %). Якщо дане значення не досягнуте, то відбувається продовження моделювання з інтервалом 1мс. Якщо досягнуто кінець інтервалу спостереження, то відбувається визначення інтенсивності надходження пакетів на інтервалі і одержане значення записується в масив інтенсивностей надходжень. Проводиться обчислення коефіцієнтів варіації 1-го та 2-го порядків і здійснюється перехід на перевірку значення коефіцієнта варіації 2-го порядку. Так відбувається доти, доки не досягнуто задане значення коефіцієнту варіації 2-го порядку. Якщо воно досягнуте, то відбувається зупинка функціонування моделі та визначається прогнозований розмір буфера з точністю, яка рівна значенню коефіцієнта варіації 1-го порядку.

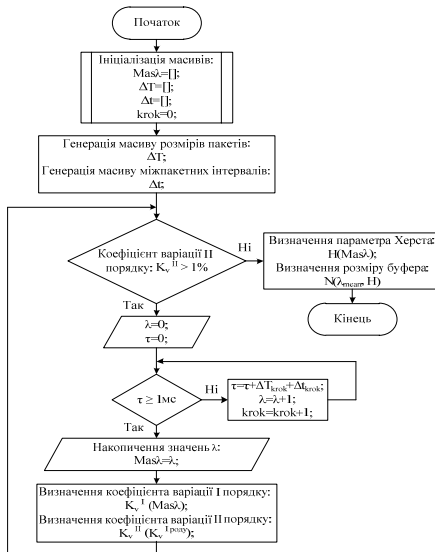


Рис. 2. Алгоритм статистичного прогнозування розміру буфера системи розподілу мультисервісного трафіка

#### 4. Аналіз результатів моделювання

Вхідні умови: кількість генерованих пакетів 200 000, тривалості пакетів задані випадковим чином (розподілені за рівномірним законом) з накладанням обмеження на мінімальний та максимальний розмір пакету. Інтервали між пакетами задані випадковим чином (розподілені за брунівським законом з параметром Херста  $H = 0,7$ ).

На основі визначеного параметру Херста встановлено, що результуючий згенерований трафік також є самоподібним (параметр Херста коливається в межах від 0,58 до 0,75 (за методикою, описаною в п.2).

В результаті моделювання отримано профіль трафіка, який достатньо проаналізувати для прогнозування розміру буфера з точністю 13,7% (рис. 3).

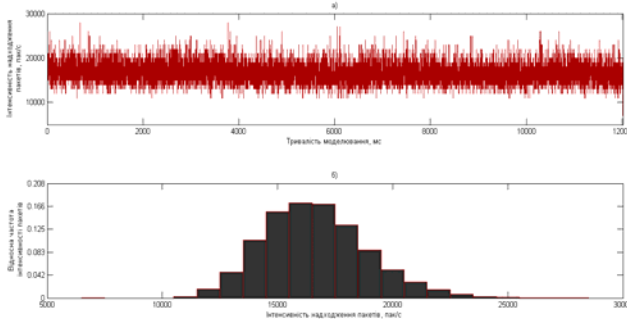


Рис.3. Одержаний профіль трафіку (а) та його густина розподілу (б)

Середнє значення інтенсивності надходження пакетів становить 17 010 пак/с. Відповідно вибрана інтенсивність обслуговування становить 18 000 пак/с, що забезпечує високий коефіцієнт використання мережі.

Зі зростанням коефіцієнта використання та параметру Херста збільшується крутизна зростання довжини черги в буфері як функції від параметру Херста (рис. 4).

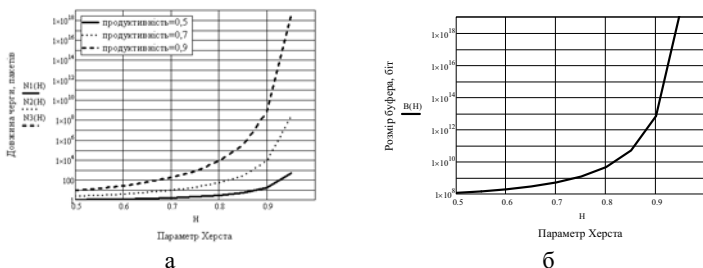


Рис. 4. Залежність довжини черги від параметру Херста при різних коефіцієнтах використання мережі (а) та залежність розміру буфера від параметру Херста за формулою Норрса (б)

За (9) отримано розмір буфера 2484 пакети. Враховуючи середню довжину IP пакету (782 байти), яка відповідає вхідним умовам проведеного імітаційного моделювання, розмір буфера становить 1,85 Мбайт.

За (10) розмір буфера становить 22,7 Мбайт. Різниця з результатами статистичного моделювання пояснюється невідповідністю застосованої формули до закону розподілу профілю трафіку, а також критично близькими значеннями швидкості передавання та пропускної здатності каналу.

Досягнуті значення коефіцієнтів варіації I та II порядків, відповідно становлять 13,7% і 1% (рис. 5). Коефіцієнт варіації I порядку характеризує можливість точність оцінки розміру буфера і визначається характером закону розподілу інтенсивності надходження пакетів. Коефіцієнт варіації II порядку характеризує достатність тривалості спостереження для визначення коефіцієнту варіації I порядку. Він є асимптотично спадним і його значення визначається тривалістю моделювання та кількістю проведених експериментів (рис. 5)

### Висновок

В статті запропоновано метод моделювання структурно функціональних параметрів системи розподілу мультисервісного трафіку на основі імітаційного статистичного моделювання з використанням методу автозупинки. Враховувались значення коефіцієнту варіації інтенсивності надходження пакетів, коефіцієнту використання мережі та параметру Херста, який характеризує властивості трафіку. Оцінка параметру Херста проводилась на основі RS-методики, а управління модельним часом здійснювалось на основі постійного кроку. Розроблено статистичний алгоритм і на його основі в системі MatLab реалізовано імітаційну модель. У

випадку проведення експерименту з кількістю вхідних пакетів 200 000 точність прогнозування складає 13,7% і прогнозований розмір буфера становить 1,85 Мбайт за (9) та 22,7 Мбайт за (10).

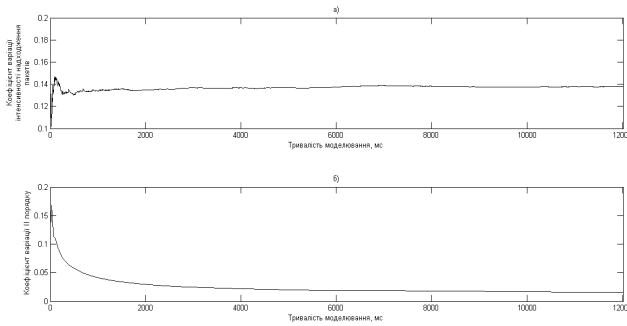


Рис. 5. Залежність коефіцієнту варіації I порядку (а) та коефіцієнту варіації II порядку (б) від тривалості моделювання

1. *Ningning Hu*. Evaluation of Queue Management Algorithms [Електронний ресурс]: Course Project Report for 15-744 Computer Networks // *Ningning Hu, Liu Ren, Jichuan Chang*. Режим доступу до статті: [http://www.cs.cmu.edu/afs/cs/user/hnn/www/cs744\\_project/744-report.doc](http://www.cs.cmu.edu/afs/cs/user/hnn/www/cs744_project/744-report.doc).
2. *Лемешко А.В., Симоненко А.В.* Управління чергами на вузлах активної мережі // Радіотехніка: Радіотехніка: Всеукр. міжвед. науч.-техн. сб. – 2007. – Вип. 151. – С. 92–97.
3. *James Haught*. A Kalman filter-based prediction system for better network context-awareness [Електронний ресурс] / *James Haught, Kenneth Hopkinson, Nathan Stuckey, Michael Dop, Alexander Stirling* // Proceedings of the 2010 Winter Simulation Conference. Доступ до матеріалів: <http://www.informs-sim.org/wsc10papers/271.pdf>
4. *Abhishek Jain*. An Adaptive Prediction based Approach for Congestion Estimation in Active Queue Management (APACE) [Електронний ресурс]/ *Abhishek Jain, Abhay Karandikar and Rahul Verma*. GLOBECOM 2003. P. 4153–4157. Режим доступу до статті: <http://dSPACE.library.iitb.ac.in/jspui/bitstream/10054/441/1/28138.pdf>
5. *Abdouni Khayari El, Rachid and Sadre, Ramin and Haverkort, Boudewijn and Ost, Alexander* (2004) The pseudo-self-similar traffic model: application and validation. Performance Evaluation, 56 (1-4), pp. 3-22. ISSN 0166-5316.
6. *Ложковський А.Г.* Исследование системы обслуживания с ожиданием и рекуррентным потоком вызовов // Наукові праці ОНАЗ ім. О.С. Попова. – 2004. – № 2. – С. 56–59.
7. *Ложковський А.Г., Ганифаев Р.А.* Оценка параметров качества обслуживания самоподобного трафика энтропийным методом // Наукові праці ОНАЗ ім. О.С. Попова. – 2008. – № 1 – С. 57–62.
8. *Alpesh Patel and Carey Williamson*. Statistical multiplexing of self-similar traffic: theoretical and simulation results [Електронний ресурс]. Department of Computer Science. University of Saskatchewan. 1997. 14 p. Режим доступу до посібника: <http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/summary?doi=10.1.1.44.92>

Поступила 10.02.2011р.