

УДК 621.34

Д.Е. Двухглавов, А.В. Петров, В.В. Грідіна

Харківський університет Повітряних Сил ім. І. Кожедуба, Харків

## МОДЕЛЮВАННЯ ПРОЦЕСІВ ПЕРЕДАЧІ ВІДЕОДАНИХ В ІР-МЕРЕЖАХ

Представлено математичну модель передачі відеоданих в ІР-мережі. При розробці використаний метод моделювання телекомунікаційних мереж замкнутими неоднорідними мережами обслуговування, що дозволяє представити найбільш суттєві сторони функціонування телекомунікаційної системи при передачі відеоданих. Запропонована математична модель може бути застосована для побудови програмного модуля оцінювання імовірно-часових характеристик функціонування конкретної мережі в залежності від складу устаткування.

**Ключові слова:** телекомунікаційні системи, передача відеоданих, системи масового обслуговування.

### Вступ

**Постановка проблеми.** В даний час локальні мережі здатні забезпечувати доступ в реальному масштабі часу значного числа абонентів до різних мультимедійних послуг, таких як ІР-телефонія, віщання аудіо- і відеопрограм, телебачення за запитом. Швидке зростання продуктивності комунікаційного устаткування дозволяє використовувати протокол ТСП/ІР для передачі мультимедійних даних в цих мережах в реальному масштабі часу. Якість надання мультимедійних послуг чутлива до затримки передачі даних і її дисперсії між інформаційним сервером, що надає послугу, і абонентом. Зниження затримок у функціонуванні можна забезпечити ретельним проектування систем. Як показав **аналіз літератури** [1, 2], зазвичай при розробці локальної мережі аналізується сумісність компонентів устаткування мережі та програмного забезпечення. Але аналіз функціонування мережі при передачі даних між абонентами, значну частину якої складає мультимедійна інформація, дозволить сформулювати вимоги, які забезпечать якість надання телекомунікаційних послуг. **Метою статті** є розробка математичної моделі передачі даних в типовій локальній ІР-мережі для визначення параметрів її функціонування.

### Основна частина

Розглянемо процес передачі відеопрограм по локальній ІР-мережі. Комутаційне середовище мережі (рис. 1) організоване на базі активного комутатора. Кожна робоча станція абонента організована на базі персонального комп'ютера та підключена до комутатора. Абоненти мережі використовують інформаційний сервер для прийому з нього замовлених відеопрограм. З цією метою вони встановлюють з'єднання з сервером, після ідентифікації вибирають відеопрограми, що цікавлять їх, і починають їх перегляд на своїх робочих станціях в реальному масштабі часу. При цьому відеокадри вкладаються в ТСП-сегменти і у вигляді ІР-пакетів передаються по мережі до робочої станції. При передачі ці ІР-пакети зазнають випадкові затримки, вони можуть бути

неправильно прийняті або втрачені. Все це викликає повторну передачу відповідних ТСП-сегментів і, отже, додаткову затримку відеокадрів, а також їх переупорядкування.

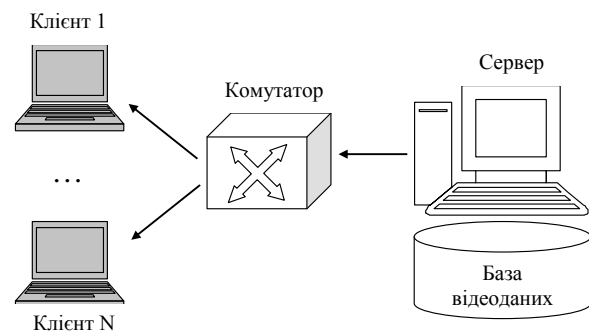


Рис. 1. Структура телекомунікаційної системи для представлення сервісу відео за запитом

Трансльований абонентіві відеопотік кодується в цифровому вигляді відповідно до стандарту МРЕГ [3]. Відповідно до цього стандарту цифровий відеопотік з частотою регенерації зображення в 25 або 30 кадрів в секунду складається з послідовності груп відеокадрів фіксованої довжини і структури. У складі кожної групи виділяються відеокадри (VOP – Video Object Plane) трьох типів: 1-кадр (базовий); Р-кадр (спрогнозований); В-кадр (двонаправлений). Інтенсивність надходження VOP для користувачів – 25 VOP/с, середній розмір VOP – 360 на 240 пікселів.

Для оцінки імовірно-часових характеристик передачі відеотрафіку пропонується представити цей процес у вигляді моделі, структура якої приведена на рис. 2. Модель цифрового віщання розроблена в класі неоднорідних замкнутих мереж обслуговування і складається з  $L$  вузлів (кола),  $L = 8 + 4N_A$ , по яких циркулює  $K$  класів різнотипних заявок  $K = 15N_A$  (лінії) [4]. Напрями ліній на рис. 2 показують напрям потоків заявок, відповідних класів, а величина  $N_A$  визначає число абонентів, що здійснюють одночасний прийом відео програм. Мережа обслуговування, представлена на рис. 2, визначається наступним набором параметрів  $\Gamma$  [4]:

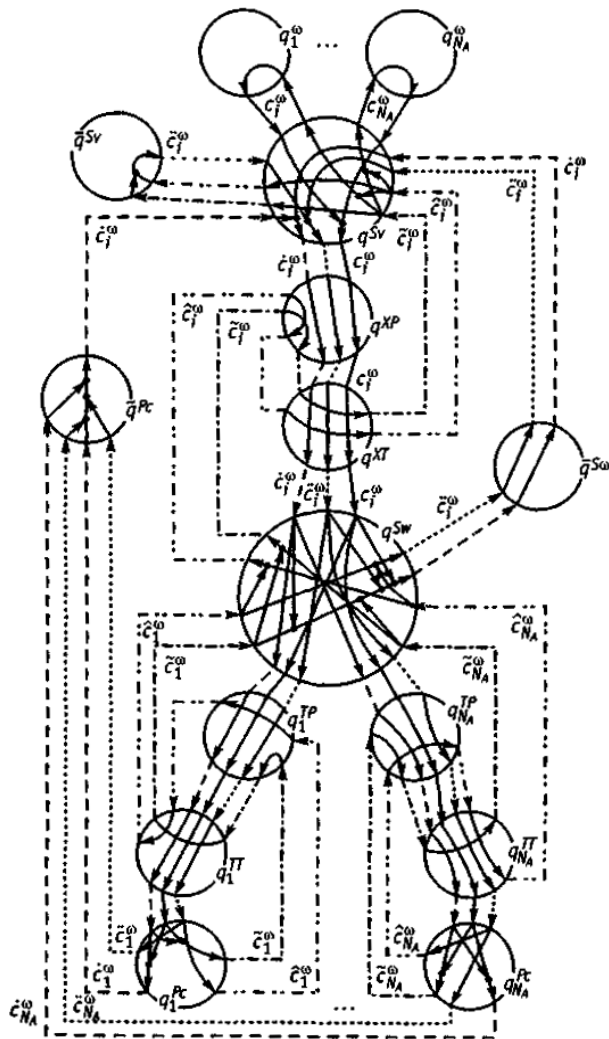


Рис. 2. Математична модель цифрової передачі відеоданих в IP-мережі

$$\Gamma = \langle L, K, \bar{N}, \Theta, \bar{D}, \mu \rangle,$$

в якому:  $L$  - число етапів обробки (вузлів обслуговування) в мережі  $\Gamma$ ;  $K$  - число класів заявок;  $\bar{N}$  - початковий вектор числа заявок в СеМО,  $\bar{N} = (\bar{N}_k)$ ,  $k = \overline{1, K}$ ;  $\Theta = (\theta_{i,k,j,l})$ ,  $i, j = \overline{1, L}$ ,  $k, l = \overline{1, K}$  - маршрутна матриця, в якій елемент  $\theta_{i,k,j,l}$  визначає імовірність того, що заявка  $k$ -класу переходить з  $i$ -етапу до  $j$ -етапу та  $l$ -клас;  $\bar{D}$  - вектор дисциплін обслуговування заявок на  $i$ -етапі;  $\mu = (\mu_{i,k})$ ,  $i = \overline{1, L}$ ,  $k = \overline{1, K}$  - матриця інтенсивностей обслуговування заявок, в якій елемент  $\mu_{i,k}$  визначає інтенсивність обслуговування заявок  $k$ -класу на  $i$ -етапі.

До заявок, які обробляються в системі, відносяться:  $c_i^\omega$  - передача  $\omega$ -кадрів між сервером і  $i$ -ою робочою станцією,  $\omega \in \Omega$ ,  $\Omega = \{I, P, B\}$  - множина типів кадрів в пакеті;  $\dot{c}_i^\omega$  - повторна передача  $\omega$ -кадрів між сервером і  $i$ -ою робочою станцією;  $\ddot{c}_i^\omega$  - повторна передача  $\omega$ -кадрів, які були вірно прийняті

$i$ -робочою станцією, але сервер не отримав підтвердження;  $\tilde{c}_i^\omega$  - передача підтверджень на  $\omega$ -кадрів, які були правильно прийняті  $i$ -робочою станцією вперше;  $\hat{c}_i^\omega$  - передача підтверджень на  $\omega$ -кадрів, які були правильно прийняті в  $i$ -робочою станцією в наступний раз.

Після надходження в систему, пакет кадрів переміщується між різними елементами, при цьому можуть виникати наступні затримки, які характеризують етапи процесу обробки (вони позначені на рис. 2 колами):  $q_i^\omega$  - затримка між двома  $\omega$ -кадрами у відеопотоці, переданому для  $i$ -робочої станції;  $q^{Sv}$  - затримка кадрів для їх обробки в сервері;  $q^{XP}$  - затримка сигналу при передачі по каналу від сервера до комутатора і назад;  $q^{XT}$  - затримка кадрів при передачі по каналу від сервера до комутатора;  $q^{Sw}$  - затримка IP-пакетів в комутаторі;  $q_i^{TP}$  - затримка сигналу при передачі по каналу від комутатора до відповідної робочої станції і назад;  $q_i^{TT}$  - затримка кадрів при передачі по каналу від комутатора до відповідної робочої станції;  $q_i^{PC}$  - затримка кадрів в  $i$ -робочій станції користувача при їх прийомі і обробці;  $\bar{q}^{Pc}$  - середня затримка між моментами ідентифікації помилкового прийому TCP-сегмента в  $i$ -робочій станції і початку їх повторної передачі в сервері після закінчення часу тайм-ауту;  $\bar{q}^{Sv}$  - середня затримка між моментами ідентифікації помилкового прийому пакету підтвердження в сервері і початку повторної передачі відповідного TCP-сегмента після закінчення часу тайм-ауту;  $\bar{q}^{Sw}$  - середня затримка між моментами ідентифікації помилкового прийому TCP-сегмента в комутаторі і початку повторної передачі в сервері по закінченню часу тайм-ауту.

Дисциплінами обслуговування заявок в системі є такі: для  $q_i^\omega$ ,  $q^{XT}$ ,  $q_i^{TT}$  - «перший прийшов - перший обслуговується»; для  $\bar{q}^{Pc}$ ,  $\bar{q}^{Sw}$ ,  $\bar{q}^{Sv}$ ,  $q_i^{TP}$ ,  $q^{XP}$  - це модель обслуговування з нескінченною кількістю приладів; для  $q^{Sv}$ ,  $q^{Sw}$ ,  $q_i^{Pc}$  - модель обслуговування з кінцевою кількістю приладів, при цьому є можливість відмови від обслуговування, при переповненні вхідного буфера.

Розроблена модель, дозволяє отримати оцінки ряду імовірнісно-часових характеристик процесу передачі відеотрафіку по IP-мережі, до основних з яких слід віднести [4, 5]:

- середнє число кадрів, що чекають передачу в сервері

$$\bar{n}_{Sv} = \sum_{i=1}^{N_A} \sum_{\omega \in \Omega} \sum_{c \in C} \bar{n}_{q^{Sv,c}};$$

– середнє число пакетів, що чекають передачу в комутаторі

$$\bar{n}_{Sw} = \sum_{i=1}^{N_A} \sum_{\omega \in \Omega} \sum_{c \in C} \bar{n}_{q^{Sw},c};$$

– загальне число пакетів, що знаходяться в спільно використовуваній пам'яті комутатора

$$\bar{n}_M = \bar{n}_{Sw} + \bar{n}_X + \sum_{i=1}^{N_A} \bar{n}_{T_i};$$

– середнє число кадрів, що чекають обробку в і-робочій станції

$$\bar{n}_i = \sum_{i=1}^{N_A} \sum_{\omega \in \Omega} \sum_{c \in C} \bar{n}_{q^{Pc},c};$$

– середній час знаходження кадрів в мережі

$$t_i = t_{q^{Sv},c_i^{Sv},q_i^{Sv},c_i^{Sv}};$$

– коефіцієнт обслуговування комутатора

$$\rho_{Sw} = \sum_{\omega \in \Omega} \sum_{c \in C} \rho_{q^{Sw},c};$$

– коефіцієнт обслуговування сервера

$$\rho_{Sv} = \sum_{\omega \in \Omega} \sum_{c \in C} \rho_{q^{Sv},c};$$

– загальна інтенсивність кадрів в комутаторі

$$\bar{\lambda}_{Sw} = \sum_{\omega \in \Omega} \sum_{c \in C} \bar{\lambda}_{q^{Sw},c};$$

– середній час доставки кадрів з сервера в і-ту робочу станцію

$$\bar{\tau}_i^\omega = \bar{\tau}_{q_i^{Sv},c_i^\omega,q_i^{TP},c_i^\omega}, \quad i = \bar{1}, N_A, \quad \omega \in \Omega.$$

Позначення в даних формулах такі:  $\bar{n}_{i,k}$  – середнє число вимог k-класу, які знаходяться на і-ому етапі;  $\bar{u}_{i,k}$  – середній час затримки вимоги k-класу на і-ому етапі;  $\bar{\tau}_{i,k;j,l}$  – середній час передачі вимоги k-класу, яке знаходиться на і-му етапі обробки, на j-й етап обробки і в l-клас;  $\rho_{i,k}$  – коефіцієнт використання обслуговування вимогами k-класу на і-му етапі;  $\lambda_{i,k}$  – інтенсивність вхідного потоку вимог k-класу на і-му етапі;

$C = \{c_i^\omega, \dot{c}_i^\omega, \ddot{c}_i^\omega, \tilde{c}_i^\omega, \hat{c}_i^\omega\}$  – множина заявок.

Розрахунок даних характеристик буде можливий після визначення матриці інтенсивностей обслуговування і маршрутної матриці моделі. Але ці параметри набувають конкретні значення тільки при уточненні характеристик устаткування IP-мережі. Узагальнені формули для розрахунку даних для моделювання представлені в [5].

## Висновки

Розроблена модель надає можливість розробки програмного модуля, використання якого дозволить оцінити широкий набір імовірно-часових характеристик процесу цифрового віщання відео програм у IP-мережі, а саме: коефіцієнти використання різного типу устаткування; затримки в передачі відеокadrів кожного типу для кожного абонента; розмір необхідної буферної пам'яті комутатора, який необхідний для віщання відео програм абонентам мережі; розміри додаткових трафіків, які обумовлені помилками при передачі IP-пакетів в різних фрагментах мережі, а також їх неприпустимо великими затримками.

## Список літератури

1. Chen J.C., Agrawal P. Active techniques for real time video transmission and playback ICC-2000 // IEEE international conference on communications. – 2000. №12-22. - New Orleans, IEEE. – P. 239-243.
2. Новиков Ю.В., Кондратенко С.В. Локальные сети: архитектура, алгоритмы, проектирование. – М.: Эком, 2000. – 1148 с.
3. ISO/IEC JTC1/SC29/WG11 № 2459. Overview of the MPEG-4 standard. – 1998.
4. Телекоммуникационные системы и сети. Том 3. – Мультисервисные сети. – М.: Горячие линии-Телеком, 2005. – 592 с.
5. Казиев В.М. Введение в анализ, синтез и моделирование систем. – ИНТУИТ, БИНОМ-Лаборатория знаний, 2006. – 248 с.

Надійшла до редколегії 7.11.2009

**Рецензент:** канд. техн. наук, проф. Б.М. Судаков, Національний технічний університет «ХПІ», Харків.

## МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ ПЕРЕДАЧИ ВИДЕОДАНЫХ В IP-СЕТЯХ

Д.Э. Двухглавов, А.В. Петров, В.В. Гридина

Представлена математическая модель передачи видеоданных в IP-сети. При разработке использован метод моделирования телекоммуникационных сетей замкнутыми неоднородными сетями обслуживания, что позволяет представить наиболее существенные стороны функционирования телекоммуникационной системы при передаче видеоданных. Предложенная математическая модель может быть использована при построении программного модуля оценивания вероятностно-временных характеристик функционирования конкретной сети в зависимости от состава оборудования.

**Ключевые слова:** телекоммуникационные системы, передача видеоданных, системы массового обслуживания.

## MODELING OF VIDEO DATA TRANSMISSIONS PROCESSES IN IP-NETWORKS

D.E. Dvukhglavov, A.V. Petrov, V.V. Gridina

A mathematical model videodata transmissions in an IP-merежі is presented. For base of development the method of modeling by the reserved heterogeneous networks of maintenance is used to telecommunication networks describe, that allows to present the most substantial sides of telecommunication system functioning at the transmission of videoinformation. Offered a mathematical model can be applied for the construction of the programmatic module of evaluation of probabilistic-sentinel descriptions of functioning of concrete network depending on composition of equipment.

**Keywords:** telecommunication systems, transmission of videoinformation, queuing system.