

УДК 621.396

К.О. ПОЛЬЩИКОВ, О.О. ЛАВРУТ, С.В. ДРУЖИНІН

*Військовий інститут телекомунікацій та інформатизації НТУУ «КПІ», Україна***ІМІТАЦІЙНА МОДЕЛЬ УПРАВЛІННЯ ПОТОКАМИ ДАНИХ В ІНФОРМАЦІЙНІЙ МЕРЕЖІ ШЛЯХОМ ЗМІНИ МІЖСЕГМЕНТНОГО ІНТЕРВАЛУ**

*В роботі пропонується імітаційна модель функціонування інформаційної мережі, в якій здійснюється управління потоками даних шляхом зміни інтервалів часу між відправленням сегментів. Адекватність даної моделі підтверджено достатньою збіжністю результатів, одержаних в ході аналітичного та імітаційного моделювання. Розроблену імітаційну модель доцільно використовувати для оцінки ефективності процесу управління потоками даних в інформаційній мережі.*

**Ключові слова:** управління потоками даних, міжсегментний інтервал, імітаційна модель, інформаційна мережа.

**Вступ**

**Обґрунтування актуальності досліджень та аналіз літератури.** Відомо, що найбільш прийнятним серед сучасних засобів, що забезпечують доставку даних в інформаційних мережах з потрібною якістю обслуговування, є протокол управління передаванням (Transmission Control Protocol, TCP). Для забезпечення ефективного функціонування інформаційних мереж протоколом TCP передбачено управління потоками даних за допомогою методу ковзного вікна [1]. Згідно з цим методом інтенсивність відправлення інформаційних сегментів в мережу регулюється розміром вікна передавання. Вікно передавання – це кількість сегментів, що можуть бути відправлені в мережу без очікування на передавальному боці підтверджень (квитанцій) про успішну доставку відповідних сегментів адресатові. Зрозуміло, що збільшення розміру вікна призводить до підвищення інтенсивності відправлення сегментів та навпаки.

Методу ковзного вікна притаманні суттєві недоліки [2]. По-перше, при втраті сегмента передавач, інтерпретуючи цей факт як ознаку перевантаження мережі, різко зменшує інтенсивність відправлення даних, встановлюючи розмір вікна рівним 1. Це робить неефективним використання протоколу TCP в бездротових мережах зі значною імовірністю спотворення символу. По-друге, при одержанні квитанцій на передавальному боці розмір вікна стрімко збільшується, поки сегмент не буде втрачено знову. В результаті спостерігаються значні сплески сегментів, тобто дані передаються в мережу дуже нерівномірно. Це спричиняє виникнення та посилення мережних перевантажень, збільшення кількості втрачених сегментів.

Недоліки методу ковзного вікна можна усунути, якщо управління інтенсивністю відправлення даних здійснювати шляхом зміни індивідуальної затримки кожного сегмента, збільшуючи або зменшуючи інтервал часу  $\tau$  між відправленням сусідніх сегментів. На цьому принципі заснований, наприклад, алгоритм управління швидкістю передачі даних (Adaptive Rate, AR) [2]. На жаль, у фаховій літературі питанням, присвяченим дослідженню ефективності використання подібних алгоритмів в мережах передачі даних, приділяється недостатньо уваги. Тому дослідження ефективності управління потоками даних в інформаційній мережі шляхом зміни міжсегментного інтервалу є актуальним науково-технічним завданням.

Одним з найбільш прийнятних методів, що дозволяють вирішувати подібні завдання, є імітаційне моделювання [3, 4].

**Метою наукового дослідження,** суть якого викладено в статті, є розробка імітаційної моделі процесу управління потоками даних, що ґрунтується на регулюванні затримки між відправленням в мережу інформаційних сегментів.

**3. Основний матеріал дослідження**

Для дослідження ефективності управління потоками даних в інформаційній мережі шляхом зміни тривалості міжсегментного інтервалу розроблено імітаційну модель в програмному середовищі MATLAB + Simulink [5], структурну схему якої подано на рис. 1.

Елементи цієї моделі імітують: *Transmitter* – виконання функцій формування вузлом-відправником інформаційних сегментів, передавання їх в мережу з потрібною затримкою  $\tau$ , приймання квитанцій

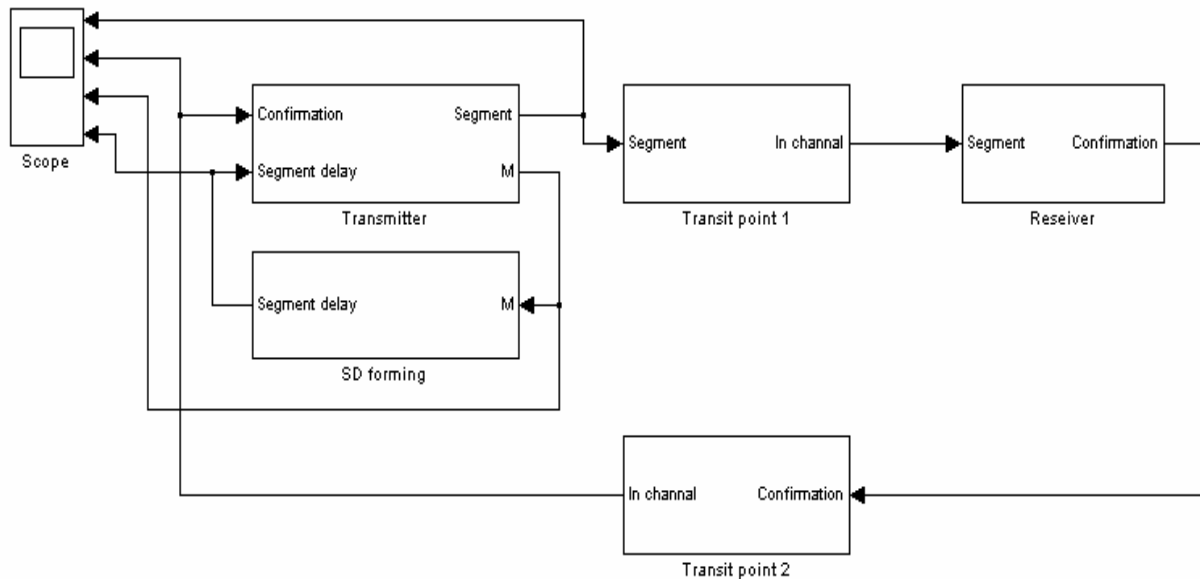


Рис. 1. Структурна схема імітаційної моделі

цій (підтвержень про успішну доставку відповідних сегментів), що надходять від вузла-одержувача та вимірювання значень  $M$  – часу очікування цих квитанцій; *Transit Point 1* – приймання сегментів проміжним вузлом, їх буферизацію та відправлення вузлу-одержувачу в порядку надходження; *Receiver* – приймання сегментів вузлом-одержувачем, їх обробку та передавання квитанцій вузлу-відправнику через проміжний вузол; *Transit Point 2* – приймання квитанцій проміжним вузлом, їх буферизацію та передавання вузлу-відправнику в порядку їх надходження; *SD Forming* – на основі вимірних значень  $M$  імітує обчислення поточних значень міжсегментного інтервалу  $\tau$  та передавання цих даних елементам, що здійснюють відправлення сегментів з відповідною затримкою. Віртуальний регістратор *Scope* призначений для візуального спостереження за процесами відправлення сегментів та приймання квитанцій вузлом-відправником, а також для відображення поточних значень  $M$  і  $\tau$ .

Усі зазначені вище елементи моделі побудовані з використанням стандартних блоків бібліотеки *Simulink Library Browser* [5]. Розглянемо, наприклад, структурну схему елементу *Segment Numbering* (рис. 2), що є однією зі складових частин елементу *Transmitter*. Елемент *Segment Numbering* імітує виконання операції присвоєння кожному сегменту індивідуального номера в межах віртуального з'єднання. Сегменти, що формуються на передавальному боці, мають вигляд імпульсів одиничної тривалості, амплітуда яких відповідає номеру сегмента.

Для побудови імпульсів з потрібною амплітудою за допомогою стандартного блоку *Product* ви-

конується множення одиничного значення амплітуди імпульсів, що надходять на вхід *Pulse*, на значення, які відповідають номерам сегментів.

Сегментам привласнюються номери в порядку зростання. Для імітації цієї процедури в блоці *Number Forming* для одержання номера поточного сегмента значення номера попереднього сегмента збільшується на одиницю. Одержане таким чином значення номера поточного сегмента буде використано в наступному такті роботи моделі як значення номера попереднього сегмента. Для цього це значення підлягає затримці на один такт за допомогою стандартного блоку *Unit Delay*.

Елемент *Number Forming* спрацьовує, якщо на вхід *Pulse* надходить позитивний імпульс, тобто виконується умова:

$$u_1 > 0, \quad (1)$$

де  $u_1$  – амплітуда імпульсу, що надходить на вхід *Pulse*.

Перевірка виконання умови (1) здійснюється за допомогою стандартного блоку *If*. Сформовані сегменти з потрібними номерами надходять на вихід *Segment*. На жаль, обмежений обсяг статті не дозволяє зробити детальний опис побудови усіх елементів моделі.

Для обчислення величини  $\tau$  в процесі моделювання можна задати будь-яку функцію або алгоритм. У даному варіанті імітаційної моделі значення затримки між відправленням в мережу сегментів в момент часу  $t$  визначається за простою формулою:

$$\tau(t) = |M(t) - 20|, \quad (2)$$

де  $M(t)$  – останнє значення часу очікування квитанції, зафіксоване на момент часу  $t$ .

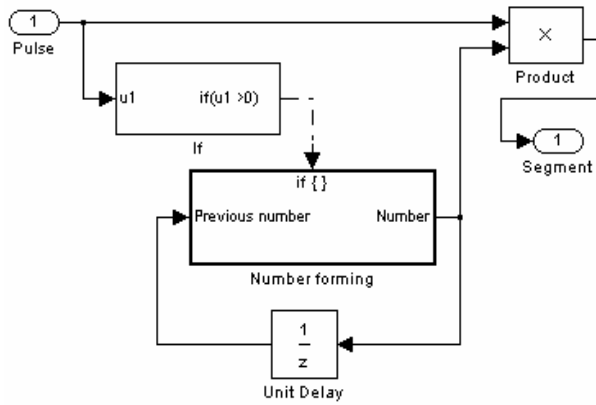


Рис. 2. Структурна схема елементу *Segment Numbering*

Дана модель дозволяє оцінити ефективність процесу управління потоками даних в інформаційній мережі. Для цього як показник ефективності може бути використано середній час доставки повідомлення до вузла-одержувача. Значення цього показника буде дорівнювати усередненому для серії експериментів часу надходження до вузла-відправника квитанції на останній сегмент повідомлення.

Коректність роботи розробленої моделі можна перевірити за результатами імітаційних експериментів. Розглянемо, наприклад, фрагменти осцилограм віртуального регістратора *Scope* (рис. 3), одержані в результаті моделювання.

Сегмент №20 було відправлено в момент часу  $t_1 = 87$  мс (рис. 3, а), квитанцію на цей сегмент було одержано в момент часу  $t_2 = 115$  мс (рис. 3, б). Час очікування квитанції на сегмент №20, що обчислюється за виразом  $M = t_2 - t_1$ , складає 28 мс. Цей результат збігається зі значенням  $M$  в момент часу  $t_2 = 115$  мс (рис. 3, в), що свідчить про правильність вимірювання часу очікування квитанцій в процесі моделювання.

В момент відправлення сегменту №20 ( $t_1 = 87$  мс) поточне значення часу очікування квитанції дорівнювало  $M = 29$  мс (рис. 3, в). Тож сегмент №21 згідно з формулою (2) треба відправити в мережу через інтервал часу  $\tau = 9$  мс (рис. 3, г).

Аналіз осцилограми (рис. 3, а) показує, що дійсно значення затримки у часі між відправленням сегментів з номерами 20 та 21 складає 9 мс. Це свідчить про те, що в ході моделювання правильно обчислюються значення міжсегментного інтервалу, які потім коректно використовуються для імітації процесу відправлення сегментів з відповідними номерами.

Аналіз часових співвідношень між моментами відправлення сегментів з любыми номерами та мо-

ментами приймання відповідних квитанцій підтверджує істинність сформульованих вище висновків щодо коректності роботи даної моделі.

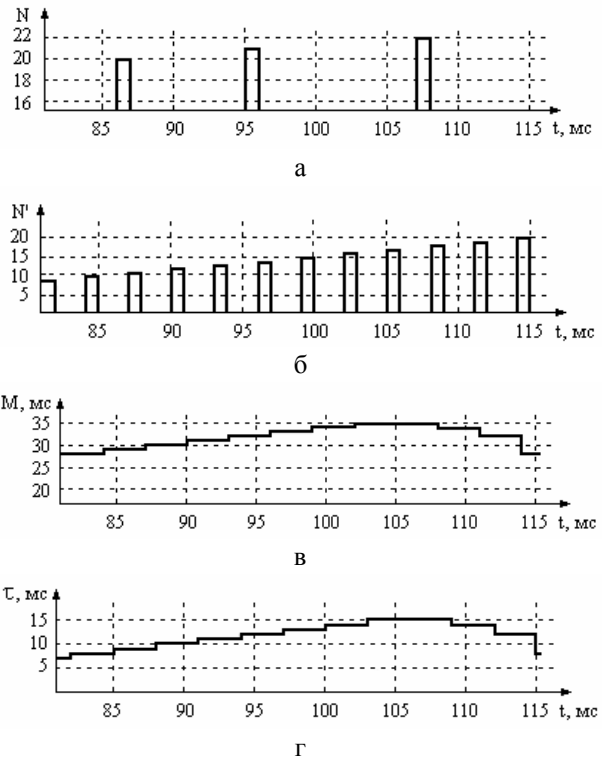


Рис. 3. Фрагменти осцилограм віртуального регістратора *Scope*:

а – візуалізація процесу відправки сегментів з номерами  $N$ ; б – візуалізація процесу приймання квитанцій з номерами  $N'$ ; в – графік залежності  $M(t)$ ; г – графік залежності  $\tau(t)$

Остаточно впевнитись в адекватності моделі можна, дослідивши коректність утворення затримки між моментом відправлення сегмента в мережу та моментом приймання на нього квитанції, тобто коректність імітації величини  $M$ .

З цією метою розроблену модель було використано в режимі, що передбачає формування на виході вузла відправника найпростішого потоку. Структурну схему імітаційної моделі, яка функціонує у такому режимі, зображено на рис. 4. Вигляд цієї схеми відрізняється від схеми, приведеної на рис. 1, тим, що замість елементу *SD Forming*, що використовувався для обчислення поточних значень  $\tau$ , у моделі (рис. 4) застосовано блок *From File*, який генерує дані про значення випадкової величини затримки між сегментами, розподіленої за експоненціальним законом. Крім того, для визначення величини  $\bar{M}$  – середнього часу очікування квитанції, у новій схемі використано елемент *M\_Mean Measuring*. Для спостереження за значеннями величини  $\bar{M}$  використовується віртуальний регістратор *Display* (рис. 4).

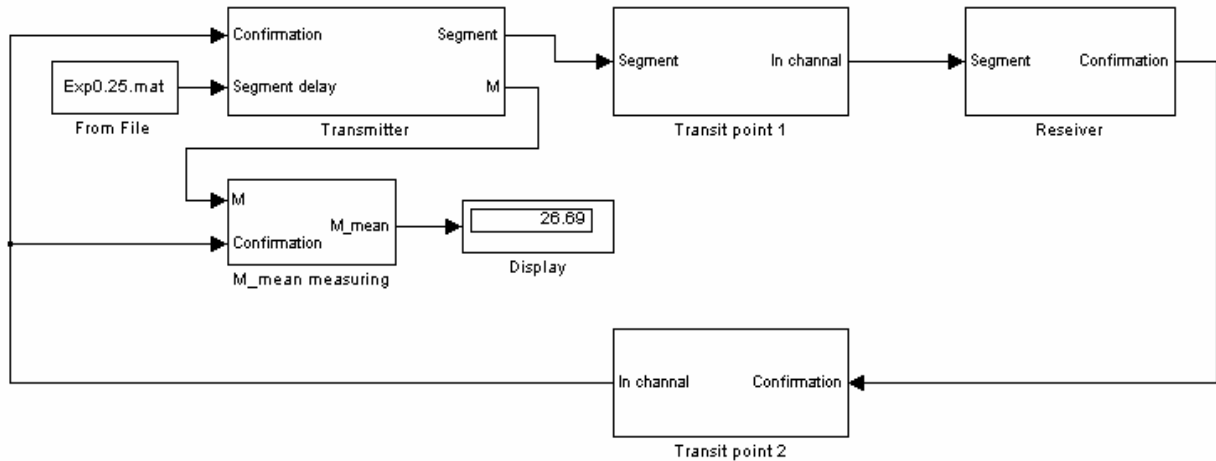


Рис. 4. Структурна схема імітаційної моделі, що використовується в режимі обслуговування найпростішого потоку сегментів

У зазначеному режимі функціонування моделі величину  $\bar{M}$  можна обчислити за допомогою відомих аналітичних виразів. Значення середнього часу очікування квитанції у цьому випадку слід розраховувати за формулою:

$$\bar{M} = T_1 + T_2 + T_3, \quad (3)$$

де  $T_1 \dots T_3$  – середні значення затримок сегментів в елементах *Transit Point 1*, *Receiver* та *Transit Point 2* відповідно.

Елемент *Transit Point 1* у такому режимі імітує одноканальну систему масового обслуговування з очікуванням, найпростішим входним потоком та детермінованим часом обслуговування запитів [6]. Величину середньої затримки запиту в такій системі можна знайти з виразу:

$$T_1 = T_{c1} + T_{ч}, \quad (4)$$

де  $T_{c1}$  – стале значення затримки запиту в системі, що не залежить від величини утвореної черги запитів;

$T_{ч}$  – середній час знаходження запиту в черзі на обслуговування.

Для зазначеної системи справедливий вираз:

$$T_{ч} = \frac{\rho^2}{2\lambda(1-\rho)}, \quad (5)$$

де  $\lambda$  – інтенсивність надходження запитів у систему;

$\rho$  – коефіцієнт завантаження каналу.

Значення  $\rho$  визначається за відомою формулою [7]:

$$\rho = \lambda T_3, \quad (6)$$

де  $T_3$  – час обслуговування одного запиту.

Через те, що час обслуговування запитів системою, що імітується елементом *Transit Point 1*, є детермінованою сталою величиною, то на входи системи, що імітується елементами *Receiver* та *Transit*

*Point 2*, надходить згладжений потік, інтенсивність якого не перевищує значення  $1/T_3$ . За такої умови черги запитів в цих системах не утворюються взагалі. Вузол-одержувач здійснює обробку прийнятого сегмента та формування на нього квитанції протягом сталого часу  $T_{c2}$ . Проміжний вузол затримує кожну квитанцію на стале значення часу  $T_{c3}$ . Отже справедливі рівності:

$$T_2 = T_{c2}, T_3 = T_{c3}. \quad (7)$$

Обчислимо величину  $\bar{M}$  з використанням формул (3) – (7) для таких початкових даних:  $T_{c1} = T_{c3} = 10$  мс,  $T_{c2} = 2$  мс,  $\lambda = 250$  с<sup>-1</sup>,  $T_3 = 3$  мс. В результаті одержимо  $\bar{M} = 26,5$  мс.

З використанням аналогічних початкових даних було проведено імітаційний експеримент за допомогою моделі, структурну схему якої зображено на рис. 4. В результаті імітаційного моделювання віртуальним регістратором *Display* зафіксовано значення  $\bar{M} = 26,69$  мс, тобто розбіжність результатів аналітичного та імітаційного моделювання у даному випадку не перевищує 1%. Крім того, було проведено серію імітаційних експериментів з іншими значеннями  $\lambda$ .

В результаті встановлено, що розбіжність значень величини  $\bar{M}$ , одержаних за допомогою імітаційного моделювання, зі значеннями цієї величини, розрахованими аналітично, не перевищує 1,2%. Цей факт свідчить про адекватність розробленої імітаційної моделі.

## Висновки

1. Розроблено нову імітаційну модель процесу управління потоками даних в інформаційній мережі, що ґрунтується на зміні величини міжсегментного інтервалу.

2. Адекватність даної моделі підтверджено достатньою збіжністю результатів, одержаних в ході аналітичного та імітаційного моделювання, а також ретельним аналізом коректності одержаних часових співвідношень, характерних для досліджуваного процесу.

3. Розроблену імітаційну модель доцільно використовувати для оцінки ефективності процесу управління потоками даних в інформаційній мережі.

4. Подальші дослідження у даному науковому напрямку доцільно присвятити удосконаленню імітаційної моделі з метою її використання для оцінки ефективності різних існуючих та перспективних методів управління потоками даних шляхом зміни міжсегментного інтервалу.

### Література

1. Паркер Т. TCP/IP Для профессионалов. 3-е изд. / Т. Паркер. – СПб.: Питер, 2004. – 859 с.

2. Alekseev I.V. Compensation Mechanism for Adaptive Rate TCP / I.V. Alekseev // 1-St International

IEEE Seminar Internet: Technologies and Services. - October 1999. - P. 68-75

3. Польщиков К.А. Математическая модель процесса управления таймером повторной передачи в информационной сети, функционирующей в соответствии с протоколом TCP / К.А. Польщиков // Системы управления, навигации та зв'язку. – К.: ЦНДІНУ, 2008. – Вип. 4(8). – С.139-142.

4. Сергиенко А.Б. Цифровая обработка сигналов / А.Б. Сергиенко. – СПб.: Питер, 2003. – 604 с.

5. Дьяконов В.П. MATLAB 6/6.1/6.5 + Simulink 4/5. Основы применения. Полное руководство пользователя / Дьяконов В.П. – М.: СОЛОН-Пресс. – 2002. – 768 с.

6. Вишневецкий В.М. Теоретические основы проектирования компьютерных сетей / В.М. Вишневецкий. – М.: Техносфера, 2003. – 512 с.

7. Поповський В.В. Математичні основи теорії телекомунікаційних систем / В.В. Поповський, С.О. Сабурова, В.Ф. Олійник, Ю.І. Лосєв, Д.В. Агєєв та ін.: За ред. В.В. Поповського. – Харків: ТОВ «Компанія СМІТ», – 2006. – 564 с.

Надійшла до редакції 21.02.09

**Рецензент:** д-р техн. наук, проф. А.Л. Ляхов, зав. кафедрою комп'ютерних інформаційних технологій і систем Полтавського національного технічного університету, Полтава.

### ИМИТАЦИОННАЯ МОДЕЛЬ УПРАВЛЕНИЯ ПОТОКАМИ ДАННЫХ В ИНФОРМАЦИОННОЙ СЕТИ ПУТЕМ ИЗМЕНЕНИЯ МЕЖСЕГМЕНТНОГО ИНТЕРВАЛА

*К.А. Польщиков, А.А. Лаврут, С.В. Дружинин*

В работе предлагается имитационная модель функционирования информационной сети, в которой осуществляется управление потоками данных путем изменения интервалов времени между отправкой сегментов. Адекватность данной модели подтверждена достаточной сходимостью результатов, полученных в ходе аналитического и имитационного моделирования. Разработанную имитационную модель целесообразно использовать для оценки эффективности процесса управления потоками данных в информационной сети.

**Ключевые слова:** управление потоками данных, межсегментный интервал, имитационная модель, информационная сеть.

### SIMULATION MODEL OF FLOWS CONTROL IN INFORMATION NETWORK BY CHANGE OF SEGMENT INTERVAL

*K.O. Polschikov, O.O. Lavrut, S.V. Druzhinin*

The simulation model of functioning of information network in which a control is carried out the flows of the time domains given by a change between the dispatch of segments is in-process offered. Adequacy of this model is confirmed sufficient coincidence of results, got during an analytical and imitation design. It is expedient to use the developed simulation model for the estimation of efficiency of flows control process in information network.

**Key words:** flows control, segment interval, simulation model, information network.

**Польщиков Костянтин Олександрович** – канд. техн. наук, доцент, докторант науково-організаційного відділу військового інституту телекомунікацій та інформатизації НТУУ «КПІ», Полтава, Україна, e-mail: konspol@rambler.ru.

**Лаврут Олександр Олександрович** – канд. техн. наук, доцент, заступник начальника кафедри факультету засобів військового зв'язку військового інституту телекомунікацій та інформатизації НТУУ «КПІ», Полтава, Україна.

**Дружинин Світозар Віталійович** – канд. військ. наук, доцент, начальник кафедри факультету засобів військового зв'язку військового інституту телекомунікацій та інформатизації НТУУ «КПІ», Полтава, Україна.