

УДК 621.396

Н.В. Рвачова, В.В. Петренко

Полтавський національний технічний університет імені Юрія Кондратюка, Полтава

МАТЕМАТИЧНА МОДЕЛЬ УПРАВЛІННЯ ІНТЕНСИВНІСТЮ ВІДПРАВКИ ДАНИХ В ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЙНІЙ МЕРЕЖІ ВІДПОВІДНО ДО МЕТОДУ АДАПТИВНОЇ ШВИДКОСТІ

В статті запропоновано математичну модель процесу управління інтенсивністю відправки даних, в телекомунікаційній мережі відповідно до методу адаптивної швидкості. Результати проведення імітаційних експериментів з використанням розробленої моделі підтверджують коректність функціонування її елементів. Визначено, що при використанні методу адаптивної швидкості в умовах динамічної зміни значень доступної пропускної здатності ресурси мережі використовуються нерационально, що призводить до уповільнення процесу доставки даних адресатові. Використання цієї моделі дозволяє визначити середній час доставки адресатові заданої кількості даних та інші імовірно-часові показники, що характеризують ефективність досліджуваного процесу.

Ключові слова: інтенсивність відправки даних, імітаційна модель, телекомунікаційна мережа.

Обґрунтування актуальності досліджень та аналіз літератури

Відомо, що основними вимогами, які повинні виконуватися при передачі даних в телекомунікаційній мережі, є висока достовірність і задана оперативність (своєчасність) доставки інформації [1, 2]. Забезпечення безпомилкової доставки інформації досягається за допомогою встановлення віртуальних з'єднань, реалізації квітування і здійснення повторних передач втрачених або спотворених даних. Виконання зазначених процедур передбачене протоколом транспортного рівня TCP (Transmission Control Protocol) [3 – 7]. Згідно з логікою даного протоколу відправлення адресатові чергового сегменту (інформаційного блоку транспортного рівня) дозволяється тільки після отримання відповідної квитанції, що уповільнює процес передачі інформації. Тому засоби, що використовуються для підвищення достовірності доставки даних, істотно знижують її оперативність.

Своєчасність доставки даних багато в чому залежить від інтенсивності відправлення сегментів на передавальному боці. Якщо значення цього параметра буде дуже високим, то це викликати переповнення каналних черг, призведе до перевантаження мережі, втрат сегментів і вимушених повторних передач. Дуже низька інтенсивності відправлення сегментів сприятиме роботі мережі в недовантаженому режимі, при цьому доступна пропускна спроможність мережі буде використовуватись нерационально. В обох випадках процес доставки інформації сповільнюватиметься. Максимально прискорити процес доставки даних дозволяє рішення задачі, що полягає в узгодженні інтенсивності відправки сегментів з величиною доступної для даного віртуального з'єднання пропускної здатності мережі. Ус-

пішно розв'язати цю задачу дуже складно в умовах швидкої зміни завантаженості каналів і високої вірогідності спотворення інформації, що передається.

Згідно з протоколом TCP управління інтенсивністю відправлення сегментів здійснюється методом ковзного вікна [3 – 7]. Йому властиві істотні недоліки, пов'язані з інтерпретацією втрати сегменту як ознаки перевантаження мережі [8]. В результаті при реалізації даного методу спостерігаються значні пульсації циркулюючого в мережі трафіку. Це приводить до виникнення і посилення мережних перевантажень, збільшення кількості втрачених сегментів, що спричиняє за собою уповільнення процесу передачі даних.

Недоліки методу ковзного вікна можна усунути, якщо управління інтенсивністю відправки даних здійснювати шляхом зміни індивідуальної затримки кожного сегменту, збільшуючи або зменшуючи тим самим часовий інтервал між відправкою сусідніх сегментів (міжсегментний інтервал). На цьому принципі заснований метод адаптивної швидкості (Adaptive Rate) [9]. На жаль, у фаховій літературі питанням, присвяченим дослідженню ефективності використання цього методу в інформаційних мережах, приділяється недостатньо уваги. Тому дослідження ефективності управління інтенсивністю трафіка, що здійснюється 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 [10 – 14].

Формулювання мети та завдань наукового дослідження

Метою наукового дослідження, суть якого викладено в статті, є забезпечення достовірної кількісної оцінки ефективності управління інтенсивністю

трафіка, що здійснюється в інформаційній мережі згідно з методом адаптивної швидкості.

Для досягнення поставленої мети потрібно вирішити наступні завдання:

1) виконати аналіз режимів управління міжсегментним інтервалом, передбачених методом адаптивної швидкості;

2) розробити імітаційну модель управління інтенсивністю трафіка, що здійснюється в інформаційній мережі згідно з цим методом;

3) обґрунтувати адекватність розробленої моделі;

4) застосувати розроблену модель для оцінки ефективності процесу управління міжсегментним інтервалом в інформаційній мережі.

Основний матеріал досліджень

Метод адаптивної швидкості передбачає використання таких режимів управління міжсегментним інтервалом [9]:

- 1) SS – режим прискореного старту;
- 2) MD1 – режим 1-го варіанту мультиплікативного скидання;
- 3) REC – режим відновлення;
- 4) FT – режим тонкого налаштування;
- 5) MD2 – режим 2-го варіанту мультиплікативного скидання.

У режимі SS відбувається зростання інтенсивності відправлення сегментів згідно з формулою:

$$R_i = R_{i-1} \cdot k_1, \quad (1)$$

де R_i – інтенсивність передавання даних в мережу в момент відправлення i -го сегменту; R_{i-1} – інтенсивність передавання даних в мережу в момент відправлення $(i-1)$ -го сегменту; k_1 – параметр зростання інтенсивності відправлення сегментів у режимі прискореного старту.

Значення R_i обчислюють за формулою:

$$R_i = \frac{1}{\tau_i}, \quad (2)$$

де τ_i – інтервал часу між відправленням i -го сегменту та сегменту з номером $(i-1)$; 1 – кількість інформації, що передається в сегменті;

Вихід із режиму SS виконується за умови:

$$R_i' < R_{i-1} \cdot k_2, \quad (3)$$

де R_i' – значення інтенсивності надходження даних до приймача, що одержане передавачем перед відправленням i -го сегменту; k_2 – коефіцієнт, який визначає граничне збільшення інтенсивності відправки сегментів. Значення R_i' обчислюють за формулою:

$$R_i' = 1/\tau_i', \quad (4)$$

де τ_i' – інтервал часу між моментами надходження до приймача сегментів з номерами i та $(i-1)$. Останнє значення інтенсивності відправлення да-

них, що фіксується у режимі SS, є максимальним та позначається R_{\max} .

Виконання умови (2) свідчить про надлишкове збільшення інтенсивності відправки сегментів та про виникнення перевантаження в мережі.

Режим MD1 використовується для різкого стрибкоподібного зниження інтенсивності відправлення даних, значення якої обчислюється як:

$$R_{\text{mdl}} = R_{\max}' - (R_{\max} - R_{\max}') \cdot k_3, \quad (5)$$

де R_{\max}' – останнє значення інтенсивності надходження даних до приймача, що одержано до переходу в режим MD1; k_3 – коефіцієнт, що визначає величину зміни інтенсивності відправлення даних у режимі MD1.

Після зниження інтенсивності передавання даних у режимі MD1 відбувається перехід до режиму REC. У режимі відновлення інтенсивність відправлення даних поступово збільшується до значення $R = R_{\max}'$, що використовують як оцінку величини $C(t)$ – доступної для даного віртуального з'єднання пропускної здатності мережі. При цьому збільшення інтенсивності відправлення сегментів здійснюється таким чином, щоб компенсувати значну завантаженість мережі, викликану в режимі SS.

Поточні значення інтенсивності відправлення сегментів у режимі REC поступово збільшуються, починаючи від значення R_{mdl} :

$$R_i = R_{\text{mdl}} + \Delta R(t_{\text{rec},i}), \quad (6)$$

де $t_{\text{rec},i}$ – інтервал часу, що пройшов від моменту переходу в режим REC до моменту відправлення в цьому режимі сегмента з номером i ; $\Delta R(t_{\text{rec},i})$ – величина, що показує, на скільки після відправки сегмента з номером i буде збільшено значення R_i в порівнянні зі значенням R_{mdl} .

Значення $\Delta R(t_{\text{rec},i})$ запропоновано визначити геометричним способом. Ця величина кількісно відповідає довжині відрізка GH, зображеного на рис. 1. Очевидно, що

$$GH = CD - FG. \quad (7)$$

З подоби трикутників CDE та FGE маємо $\frac{FG}{CD} = \frac{FE}{CE}$. Тоді,

$$FG = \frac{FE \cdot CD}{CE} = \frac{(CE - DH) \cdot CD}{CE} = CD - \frac{DH \cdot CD}{CE}.$$

Підставивши останній вираз у (7), одержимо

$$GH = \frac{DH \cdot CD}{CE}. \quad (8)$$

Кількість інформації, що потрапила у мережу в режимі SS з інтенсивністю $R > R_{\max}'$, повинна бути обслугована мережею у режимі REC, тому з геомет-

ричної точки зору має виконуватись умова рівності площ трикутників ABC та CDE. З цієї умови можна визначити довжину відрізка CE:

$$CE = \frac{AC \cdot BC}{CD} \quad (9)$$

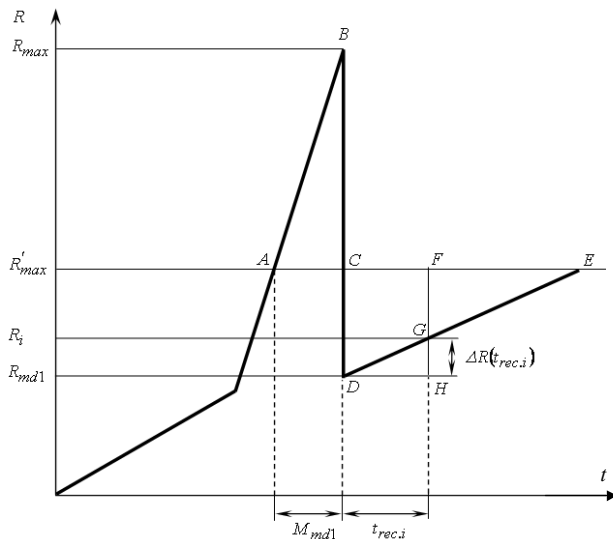


Рис. 1. Залежність інтенсивності відправлення даних передавачем від часу в режимах SS, MD1 та REC

Підставивши значення CE, що знаходиться з виразу (7), у формулу (6), одержимо

$$GH = \frac{DH \cdot (CD)^2}{AC \cdot BC} \quad (10)$$

Вираз (10) можна переписати, використавши замість геометричних відрізків відповідні параметри досліджуваного процесу:

$$\Delta R(t_{rec.i}) = \frac{t_{rec.i} \cdot (R'_max - R_{mdl})^2}{M_{mdl} (R'_max - R_{max})}$$

де M_{mdl} – час, протягом якого очікувалась остання квитанція в режимі SS.

Підставивши останній вираз у (6), одержимо:

$$R_i = R_{mdl} + \frac{t_{rec.i} \cdot (R'_max - R_{mdl})^2}{M_{mdl} (R'_max - R_{max})} \quad (11)$$

Вихід з режиму REC здійснюється, якщо виконується умова:

$$R_{i-1} \geq R'_{max} \quad (12)$$

Після цього відбувається перехід до режиму FT, в ході якого значення інтенсивності відправлення даних передавачем максимально наближається до значення доступної для даного віртуального з'єднання пропускної здатності мережі. Інтенсивність відправлення даних в цьому режимі залежить від значень величин u_i та d_i . Якщо $u_i > d_i$, то інтенсивність відправлення даних передавачем буде зростати, в протилежному випадку – зменшуватись.

Величини u_i та d_i обчислюються таким чином:

$$u_i = \left(1 + \frac{1}{M_{min} \cdot R_i} \right)^2 \quad (13)$$

$$d_i = \frac{2M_i}{M_{min}} \cdot u_i \quad (14)$$

де M_{min} – мінімальний час очікування квитанції (підтвердження успішної доставки сегмента); \overline{R}_i – ковзне середнє значення інтенсивності відправлення даних, що обчислюється до моменту відправлення сегменту з номером i ; M_i – час, протягом якого очікувалась остання квитанція до моменту відправлення сегменту з номером i ; \overline{M}_{min} – мінімальне ковзне середнє значення часу очікування квитанції.

Інтенсивність відправлення даних в режимі FT обчислюється згідно з виразом:

$$R_i = R_{i-1} + \left(2\gamma - \frac{d_i}{u_i} \right) \cdot \frac{u_i}{d_i} \cdot R_{i-1} \quad (15)$$

де γ – випадкова величина, що рівномірно розподілена на інтервалі $0 \leq \gamma \leq 1$.

При різкому зростанні часу очікування квитанції метод адаптивної швидкості передбачає перехід з режиму FT до режиму MD2, який супроводжується стрибкоподібним зниженням інтенсивності відправлення даних. Даний перехід здійснюється, якщо виконується умова:

$$\overline{R}_i > k_4 (M_{max} - \overline{M}_{min}) \quad (16)$$

де M_{max} – максимальне значення часу очікування квитанції, що зафіксовано в режимі FT; k_4 – коефіцієнт, що визначає граничне відхилення значення $(M_{max} - \overline{M}_{min})$ від значення \overline{R}_i .

Інтенсивність відправлення даних в режимі MD2 обчислюється згідно з виразом:

$$R_i = k_5 R_{i-1} \quad (17)$$

де k_5 – коефіцієнт, що визначає величину зміни інтенсивності відправлення даних в режимі MD2.

Після режиму MD2 одразу відбувається повернення до режиму FT з метою повільного узгодження інтенсивності відправлення даних з величиною доступної для даного віртуального з'єднання пропускної здатності мережі.

Шукане значення міжсегментного інтервалу на кожному етапі визначається з використанням відповідного обчисленого значення інтенсивності відправлення даних передавачем:

$$\tau_i = \frac{1}{R_i} \quad (18)$$

Аналіз зазначених вище етапів показує, що згідно з методом адаптивної швидкості обчислення значень інтенсивності відправлення даних в мережу здійснюються на основі використання виразів, оде-

ржаних евристичним шляхом. В формулах (1), (3), (5), (14), (15) значення коефіцієнтів $k_1 - k_5$ підбираються експериментально для тих чи інших умов функціонування певної мережі. Таким чином, аналітичні моделі, що описують залежність шуканого значення міжсегментного інтервалу від інших параметрів досліджуваного процесу, не мають потрібного теоретичного обґрунтування, і тому є досить грубими та приблизними.

Проте, щоб більш переконливо і коректно обґрунтувати недосконалість методу адаптивної швидкості, необхідно кількісно оцінити ефективність управління інтенсивністю трафіка, що здійснюється згідно з цим методом. Проте, щоб більш переконливо і коректно обґрунтувати недосконалість методу адаптивної швидкості, необхідно кількісно оцінити ефективність управління інтенсивністю трафіка, що здійснюється згідно з цим методом.

Для дослідження ефективності процесу управління інтенсивністю трафіка, що здійснюється в телекомунікаційній мережі згідно з методом адаптивної швидкості, розроблено імітаційну модель цього процесу в програмному середовищі MATLAB + Simulink.

Структурну схему даної моделі зображено на рис. 2. Елементи моделі імітують: *Transmitter* – виконання функцій формування вузлом-відправником потоку інформаційних сегментів, що належать до досліджуваного віртуального з'єднання, передаван-

ня їх в мережу з відповідними значеннями затримки τ_i , що обчислюються згідно з методом адаптивної швидкості, та приймання квитанцій, що надходять від вузла-одержувача; *Flow 2* – формування додаткового потоку сегментів, що надходять у мережу і належать до інших віртуальних з'єднань; *Mux* – об'єднання потоків сегментів, що надходять у мережу, а також обчислення значень величини $C(t)$; *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. Віртуальний реєстратор *Scope* призначений для візуального спостереження за процесами відправлення сегментів (канал №2) та приймання квитанцій вузлом-відправником (канал №4), а також для відображення поточних значень величини $R(t)$ сумісно зі значеннями величини $C(t)$ (канал №3) та поточних значень величини $Q(t)$ – кількості даних, що буферизовано в проміжному вузлі (канал №1).

Зазначені вище елементи моделі побудовані з використанням стандартних блоків бібліотеки Simulink Library Browser [15]. На жаль, обмежений обсяг статті не дозволяє зробити детальний опис побудови усіх елементів розробленої моделі.

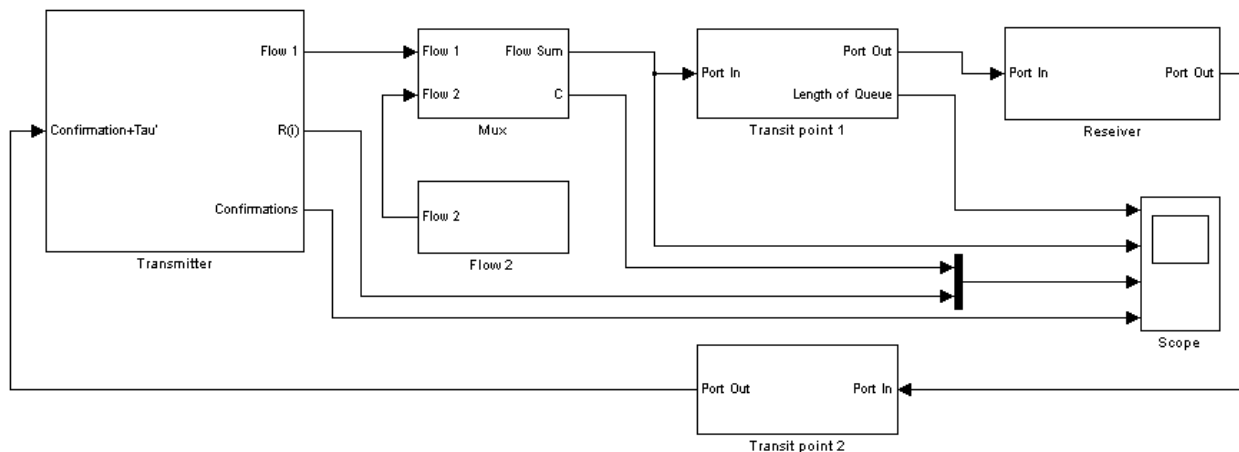


Рис. 2. Структурна схема імітаційної моделі процесу управління інтенсивністю трафіка, що здійснюється в інформаційній мережі згідно з методом адаптивної швидкості

Розглянута модель побудована на основі раніше створеної імітаційної моделі процесу управління міжсегментним інтервалом, адекватність якої обґрунтовано в [12] методом порівняння результатів імітаційного та аналітичного моделювання. З цією метою було використано режим, що передбачає формування на виході вузла-відправника найпростішого потоку. У зазначеному режимі функціонування моделі величину середнього часу очікування квитанції \bar{M} було визначено експериментально шляхом імі-

таційного моделювання, а потім для аналогічних початкових даних цю величину було обчислено за допомогою відомих з теорії масового обслуговування аналітичних виразів. В результаті проведення серії експериментів одержано прийнятну розбіжність (1,2%) між значеннями \bar{M} , одержаними за допомогою імітаційного моделювання, та значеннями цієї величини, розрахованими аналітично.

Пропонована у даній статті модель відрізняється від попередньої [12] побудовою елемента, що

імітує процес обчислення значень міжсегментного інтервалу. Для перевірки коректності функціонування елемента AR з використанням початкових даних, що містяться у табл. 1, проведено імітаційний експеримент, результати якого графічно відображено на фрагментах осцилограм віртуального реєстратора $Scope$ (рис. 3, 4).

Таблиця 1

Початкові дані
для проведення імітаційного експерименту

Параметр	Значення	Параметр	Значення
1	1 кбіт	k_2	0,25
$C(t)$, якщо $0 \leq t < 420$ мс	140 кбіт/с	k_3	0,2
$C(t)$, якщо $t \geq 420$ мс	190 кбіт/с	k_4	0,2
k_1	1,15	k_5	0,975

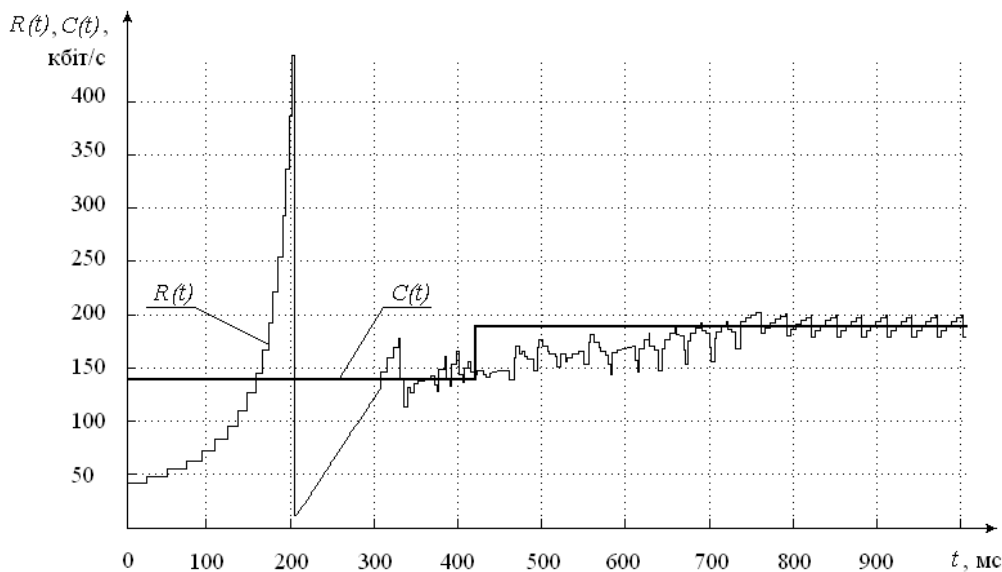
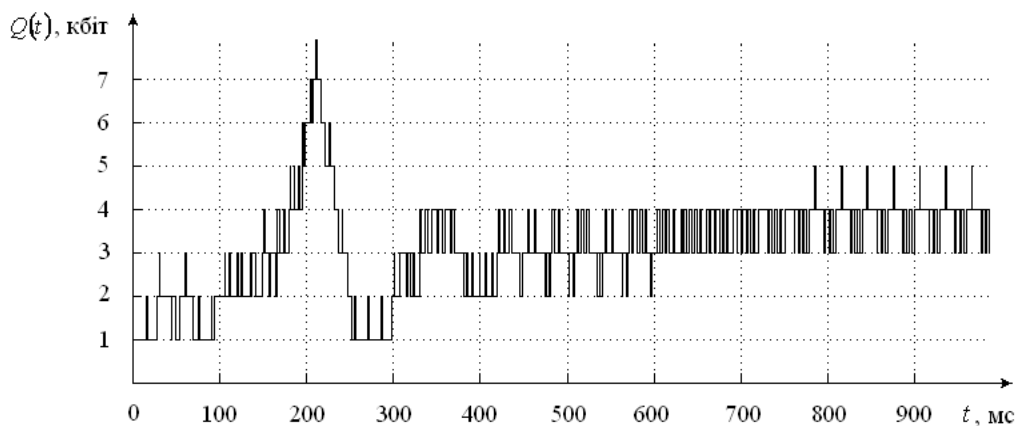
На інтервалі часу $0 < t < 205$ (мс) (рис. 3) спостерігається управління міжсегментним інтервалом у режимі SS, який характеризується швидким зрос-

танням інтенсивності відправлення даних у мережу (від 40 кбіт/с до 450 кбіт/с).

Різде зниження величини $R(t)$ (до 20 кбіт/с), що передбачено режимом MD1, відбувається в момент часу $t = 205$ (мс).

У режимі REC досліджуваний процес перебуває на інтервалі часу $205 < t < 308$ (мс), в межах якого спостерігається поступове збільшення інтенсивності відправлення даних у мережу (до 130 кбіт/с). Нарешті, починаючи з моменту часу $t = 308$ (мс), управління міжсегментним інтервалом здійснюється по чергово у режимах FT і MD2, у яких згідно з методом адаптивної швидкості відбувається наближення величини $R(t)$ до величини $C(t)$.

Аналіз рис. 4 показує, що у режимі SS кількість даних, що накопичується у буфері транзитного вузла, стрімко зростає (від 0 до 8 кбіт). У режимі REC відбувається спочатку зменшення накопичених у буфері даних (до 1 кбіт), а потім невелике зростання величини $Q(t)$ до 3 – 4 кбіт/с. У режимах FT і MD2 відбувається повільне коливання кількості буферизованих даних в межах $3 \leq Q(t) \leq 5$ (кбіт).

Рис. 3. Графіки залежності $R(t)$ і $C(t)$ Рис. 4. Графік залежності $Q(t)$

Отже, зазначені вище результати спостережень підтверджують коректність функціонування елемента AR у різних режимах, передбачених методом адаптивної швидкості, та адекватність запропонованої моделі в цілому.

Висновки

Отже, у програмному середовищі MATLAB вперше розроблено імітаційну модель процесу управління інтенсивністю вхідного потоку даних, що здійснюється в телекомунікаційній мережі згідно з методом адаптивної швидкості. Використання цієї моделі дозволяє визначити середній час доставки адресатові заданої кількості даних та інші імовірнісно-часові показники, що характеризують ефективність досліджуваного процесу.

Пропонована модель є адекватною, наочною та простою у використанні. Застосування цієї моделі дозволило виявити недосконалість методу адаптивної швидкості при його використанні в умовах динамічної зміни значень доступної пропускної здатності мережі. Розроблену імітаційну модель доцільно використовувати в подальших наукових дослідженнях, спрямованих на створення нових методів управління інтенсивністю трафіка в телекомунікаційних мережах.

Список літератури

1. Вегенія Ш. *Качество обслуживания в сетях IP*: Пер. с англ. / Ш. Вегенія. – М.: Вильямс, 2003. – 386 с.
2. Дымарский Я.С. *Управление сетями связи: принципы, протоколы, прикладные задачи* / Я.С. Дымарский, Н.П. Крутякова, Г.Г. Яновский. – М.: ИТЦ «Мобильные коммуникации», 2003. – 384 с.
3. Столингс В. *Современные компьютерные сети*. 2-е изд. / В. Столингс. – СПб.: Питер, 2003. – 783 с.
4. Кучерявый Е.А. *Управление трафиком и качество обслуживания в сети Интернет* / Е.А. Кучерявый. – СПб.: Наука и техника, 2004. – 336 с.
5. Таненбаум Э. *Компьютерные сети*: Пер. с англ. / Э. Таненбаум. – СПб.: Питер, 2002. – 848 с.
6. Паркер Т. *TCP/IP. Для профессионалов*. 3-е изд. / Т. Паркер, К. Сян. – СПб.: Питер, 2004. – 859 с.
7. Куроуз Дж. *Компьютерные сети*. 2-е изд. / Дж. Куроуз, К. Росс. – СПб.: Питер, 2004. – 765 с.
8. Польщиков К.О. *Управление интенсивностью передачи данных в информационных сетях, что осуществляется на транспортном уровне модели OSI: методы, проблемы та шляхи удосконалення* / К.О. Польщиков, Н.В. Рвачова, В.В. Шкіцький // *Інформаційні інфраструктури та технології*. – Полтава, 2009. – Вип. 1. – С. 55–58.
9. Alekseev I.V. *Compensation Mechanism for Adaptive Rate TCP* / I.V. Alekseev, V.A. Sokolov // *1-St Int. IEEE Popov Seminar "Internet: Technologies and Services"*. – October 1999. – P. 68-75.
10. Міночкін А.І. *Системи імітаційного моделювання мереж зв'язку* / А.І. Міночкін, В.А. Романюк // *Зб. наук. праць*. – К.: ВІПІ НТУУ «КПІ», 2003. – Вип. 1. – С. 84–87.
11. Польщиков К.А. *Математическая модель процесса управления таймером повторной передачи в информационной сети, функционирующей в соответствии с протоколом TCP* / К.А. Польщиков // *Системи управління, навігації та зв'язку*. – К.: ЦНДІНУ, 2008. – Вип. 4(8). – С. 139–142.
12. Польщиков К.О. *Імітаційна модель управління потоками даних в інформаційній мережі шляхом зміни міжсегментного інтервалу* / К.О. Польщиков, О.О. Лаврут, С.В. Дружинін // *Радіоелектронні і комп'ютерні системи*. – 2009. – № 7(41). – С. 304–308.
13. *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. – Х.: ТОВ «Компанія СМІТ», 2006. – 564 с.
14. Польщиков К.О. *Імітаційні моделі процесів управління інформаційними потоками в телекомунікаційних мережах* / К.О. Польщиков // *Збірник наукових праць*. – К.: ВІПІ НТУУ «КПІ», 2007. – Вип. 3. – С. 98-104.
15. Дьяконов В.П. *MATLAB 6/6.1/6.5 + Simulink 4/5. Основы применения. Полное руководство пользователя* / В.П. Дьяконов – М.: СОЛОН-Пресс, 2002. – 768 с.

Надійшла до редколегії 19.05.2014

Рецензент: д-р техн. наук, проф. Г.А. Кучук, Харківський університет Повітряних Сил ім. І. Кожедуба, Харків.

МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ УПРАВЛЕНИЯ ИНТЕНСИВНОСТЬЮ ОТПРАВКИ ДАННЫХ В ТЕЛЕКОМУНИКАЦИОННОЙ СЕТИ В СООТВЕТСТВИИ С МЕТОДОМ АДАПТИВНОЙ СКОРОСТИ

Н.В. Рвачёва, В.В. Петренко

В статье предложена математическая модель процесса управления интенсивностью отправки данных в телекоммуникационной сети в соответствии с методом адаптивной скорости. Результаты проведения имитационных экспериментов с применением разработанной модели подтверждают корректность функционирования ее элементов. Определено, что при использовании метода адаптивной скорости, в условиях динамического изменения значений доступной пропускной способности, ресурсы сети используются неэффективно, что приводит к замедлению процесса доставки данных адресату. Использование указанной модели позволяет определить среднее время доставки адресату заданного количества данных и другие вероятностно-временные показатели, характеризующие эффективность исследуемого процесса.

Ключевые слова: интенсивность отправки данных, имитационная модель, телекоммуникационная сеть.

MATHEMATICAL MODEL OF INTENSITY OF SENDING DATA TELECOMMUNICATION NETWORK IN ACCORDANCE WITH THE METHOD OF ADAPTIVE RATE

N.V. Rvacheva, V.V. Petrenko

The paper proposes a mathematical model of the process of controlling the intensity of sending data in a telecommunications network in accordance with the method of adaptive rate. The results of the simulations using the developed model confirms that the functioning of its elements. Determined that when using the adaptive speed under conditions of dynamic changes in the values of the available bandwidth, network resources are used inefficiently, leading to a slowdown in the process of data delivery to the addressee. Using this model allows to determine the average delivery time given amount of data sent and other probabilistic and temporal parameters characterizing the efficiency of the test process.

Keywords: intensity of sending data, simulation model, telecommunications network.