

*Роман Анатолійович Ромащенко*

## МЕТОДИКА УПРАВЛІННЯ ТАЙМЕРАМИ В ПРОТОКОЛІ TCP ПРИ ВИКОРИСТАННІ МЕТОДУ КОВЗНОГО ВІКНА

### Постановка проблеми. Формулювання мети статті

У протоколі TCP використовується багато різних таймерів. Найбільш важливим з них є таймер повторної передачі [1]. Коли посилається сегмент, запускається таймер повторної передачі. Якщо підтвердження отримання сегменту прибуває раніше, ніж минає період таймера, то таймер зупиняється. Якщо ж, навпаки, період очікування минає раніше ніж прибуде підтвердження, сегмент передається ще раз, а таймер запускається знову.

Однак, як завадочивий стан в каналах зв'язку так і завантаженість вхідних буферів накопичувачів є величини стохастичні, внаслідок чого середнє значення і величина дисперсії часу прийняття підтвердженнь переданих сегментів (пакетів) може змінюватися всього за декілька секунд при виникненні й усуненні перевантаження. Внаслідок цього, прийняті на сьогоднішній день методи управління таймерами в протоколі TCP при використанні методу ковзного вікна є недостатньо ефективними через жорстко фіксовані значення вагового та згладжувального коефіцієнтів.

В якості вирішення зазначеного питання може служити використання динамічного алгоритму, що постійно змінює період очікування, ґрунтуючись на вимірах часу передачі сегменту.

Все це підтверджує актуальність роботи для галузі зв'язку.

Таким чином метою статті є розробка методики управління таймерами в протоколі TCP при використанні методу ковзного вікна, використання якої дозволить підвищити продуктивність інформаційних напрямків.

### Виклад основного матеріалу

Сутність зазначеної методики полягає в використанні на передаючому боці при визначенні граничного часу таймеру повторної передачі методу найменших квадратів, застосування якого дозволяє здійснювати прогнозування часу передачі сегменту інформаційним напрямком шляхом екстраполяції.

Вихідні дані:

структура мережі, задана матрицею зв'язності  $A = \{a_{ij}\}$ ;

величина навантаження  $Z_{nc} = \{Z_{ij}\}$ ;

алгоритм вибору шляхів встановлення з'єднань у напрямках зв'язку.

Умови, допущення та обмеження:

функціонування телекомунікаційної мережі розглядається в умовах статистичної рівноваги; потоки заявок, що надходять у кожен інформаційний напрямок, є найпростішими; інформаційний напрямок приймається як система масового обслуговування з обмеженням на довжину черги що має наступні характеристики:

число каналів обслуговування –  $h$ ;

число місць у чергах –  $m$ ;

ємність буфера накопичувача –  $ml$ ;

потік пакетів – найпростіший (стаціонарний пуасонівський) із щільністю  $\lambda$ ;

час обслуговування сегменту  $t_{обсл}$  – випадкова величина, що розраховується згідно з виразом

$$t_{обсл} = \frac{2}{\rho_h}, \quad (1)$$

де  $\rho_h$  – швидкість передачі даних інформаційним напрямком;

імовірність зайнятості каналів усіх шляхів мережі взаємно незалежна;

час устанавлення з'єднання дорівнює нулю;

технологія передачі – АТМ;

пакети мають однакову тривалість  $l$ ;

кожен вимір випадкової помилки часу передачі сегменту (пакету) характеризується нульовим середнім, не залежним від значень спостережуваних змінних;

дисперсії кожної випадкової помилки часу передачі сегменту (пакету) однакові, їх величини незалежні від значень спостережуваних змінних (гомоскедастичність);

відсутня автокореляція помилок вимірювання часу передачі пакета, тобто значення помилок різних спостережень незалежні одна від одної.

Реалізація методики управління таймерами в протоколі TCP при використанні методу ковзного вікна полягає у послідовному виконанні ряду кроків, а саме:

Крок 1. Визначаємо пропускну спроможність маршруту (шляху) інформаційного напрямку згідно з [2].

Крок 2.

Визначаємо змінну RTT, яка буде дорівнюється значенню найбільшого часу отримання підтвердження для цього з'єднання (з урахуванням максимальної завантаженості вузлів та трактів).

Тобто

$$RTT = \frac{1}{\pi_i} = \max. \quad (2)$$

Крок 3.

При передачі сегменту запускається таймер, який вимірює фактичний час отримання підтвердження та заносить його до бази даних точки входу в мережу.

Крок 4.

Здійснюється передача наступного сегменту, при цьому здійснюється коригування значення RTT за наступним алгоритмом.

Нехай задана  $(n + 1)$  пара значень  $(x_i, RTT_i)$ , де  $RTT_i$  – фактичний час отримання підтвердження при фіксованому значенні сегменту  $x_i$ .

Крок 4.1.

Вибирається апроксимуюча функція  $F(x)$  так, щоб сума  $S$  квадратів відхилень  $\varepsilon_i$

$$\varepsilon_i = RTT_i - F(x_i) \quad (3)$$

зверталася в мінімум, тобто з умови

$$S = \sum_{i=0}^n \varepsilon_i^2 = \min. \quad (4)$$

Якщо за апроксимуючу функцію взятий поліном, тобто

$$F(x) = \alpha \sum_{m=0}^n (x) = a_0 + a_1x + a_2x^2 + \dots + a_mx^m, \quad (5)$$

де  $m \leq n$ , то його коефіцієнти  $a_k$  визначається з системи  $(m + 1)$  нормальних рівнянь

$$S_{ka_0} + S_{k+1}a_1 + \dots + S_{k+m}a_m = v_k, \quad (k = 0, 1, 2, \dots, m). \quad (6)$$

Тут

$$S_k = \sum_{i=0}^n x_i^k, \quad (k = 0, 1, 2, \dots, m), \quad (7)$$

$$v_k = \sum_{i=0}^n RTT_i x_i^k, \quad (k = 0, 1, 2, \dots, m). \quad (8)$$

Крок 4.2. Обчислюється відповідне значення дисперсії  $\sigma^2$ , що характеризує точність вимірів величин  $RTT_i$ , за допомогою формули

$$\tilde{\sigma}^2 = \frac{S_{\min}}{n - m}, \quad (9)$$

де  $S_{\min}$  – обчислюється за формулою (4) при значеннях коефіцієнтів  $a_k$ , що є рішенням системи нормальних рівнянь (6).

Якщо вимагається також обчислити відповідні значення дисперсій  $\tilde{\sigma}_{a_k}^2$  коефіцієнтів  $a_k$ , то при рішенні методом виключення системи нормальних рівнянь величини  $v_k$  не замінюються їх числовими значеннями. В результаті рішення отримуємо для коефіцієнтів  $a_k$  лінійні залежності від величин  $v_k$ . Якщо в ці залежності підставити числові значення  $v_k$ , то отримаємо значення коефіцієнтів  $a_k$  апроксимуючого многочлена. Якщо ж в праву частину лінійної залежності для  $a_k$  підставити замість  $v_k$  одиницю, а замість інших  $v_l$  ( $l \neq k$ ) – нулі, то отримаємо величину  $M_{k,k}$ , за допомогою якої відповідне значення дисперсії  $\tilde{\sigma}_{a_k}^2$  коефіцієнта  $a_k$  обчислюється за формулою

$$\tilde{\sigma}_{a_k}^2 = M_{k,k} \tilde{\sigma}^2. \quad (10)$$

Крок 4.2.

Визначається довірчий інтервал для середнього квадратичного відхилення  $a$ .

Оскільки, згідно з умовами, вважається, що виміри – рівноточні, то довірчий інтервал для середнього квадратичного відхилення  $a$ , що характеризує точність вимірів, при заданій надійності  $\alpha$  визначається нерівностями

$$\gamma_1 \tilde{\sigma} < \sigma < \gamma_2 \tilde{\sigma}, \quad (11)$$

$$\text{де } \gamma_1 = \sqrt{\frac{n-m}{x_1^2}}, \quad \gamma_2 = \sqrt{\frac{n-m}{x_2^2}}, \quad (12)$$

а  $x_1^2$  та  $x_2^2$  визначаються з таблиці  $\chi^2$ -розподілення на підставі рівностей

$$P(x^2 \leq x_1^2) = \frac{1-\alpha}{2}; \quad P(x^2 \geq x_2^2) = \frac{1+\alpha}{2}. \quad (13)$$

Значення  $\gamma_1$  і  $\gamma_2$  можуть бути знайдені по вхідних величинах  $k = (n - m)$  і  $a$ , наведених в [3].

У разі, коли  $n$  і  $m$  великі, обчислення величин  $S_k$  та  $v_k$  за формулами (7) і (8) або ним аналогічним, а також рішення системи рівнянь (6) представляє великі труднощі.

Однак, оскільки значення аргументу  $x_i$  – рівновіддалені, обчислення можна значно скоротити, використовуючи ортогональні поліноми Чебишева  $P_{k,n}(x)$  – поліноми  $k$ -ого ступеня, для яких при  $k \neq l$

$$\sum_{i=0}^n P_{k,n}^2(x_i) = \frac{(n+k+1)(n+k)(n+k-1)\dots(n+1)}{(2k+1)n(n-1)\dots(n-k+1)}. \quad (14)$$

При цьому передбачається, що значення  $x_i$  є числами  $0, 1, 2, 3, \dots, n$ , що завжди може бути досягнуто підстановкою

$$x'_i = \frac{x_i - x_0}{h}, \quad (15)$$

де  $h$  – крок аргументу  $x_i$ .

Шуканий апроксимуючий многочлен при цьому має вигляд

$$Q_m(x) = \sum_{k=0}^m b_k P_{k,n}(x), \quad (16)$$

$$\text{де } b_k = \frac{c_k}{S_k}; \quad c_k = \sum_{i=0}^n y_i P_{k,n}(x_i); \quad S_k = \sum_{i=0}^n y_i P_{k,n}^2(x_i).$$

Відповідне значення  $\tilde{\sigma}_{b_k}^2$  дисперсії коефіцієнта  $b_k$

$$\tilde{\sigma}_{b_k}^2 = \frac{S_{\min}}{S_k(n-m)}. \quad (17)$$

Формули для поліномів Чебишева  $P_{k,n}(x)$  мають загальний вигляд

$$P_{k,n}(x) = \sum_{i=0}^k (-1)^i C_k^i C_{k+i}^i \frac{x(x-1)\dots(x-k+1)}{n(n-1)\dots(n-k+1)}. \quad (18)$$

Таблиці поліномів Чебишева для  $k = 1, 2, 3, 4, 5, n = 5, 6, 7, \dots, 20, x = 0, 1, 2, 3, \dots, n$  приведені в [3].

Значення поліномів Чебишева в цих таблицях помножені на величину  $P_{nn}(0)$  для отримання цілих значень. У випадку обчислення  $Q_m(x)$  за формулою (16) за допомогою таблиць, а також  $\tilde{\sigma}_{b_k}^2$  по формулі (17), ця обставина не вимагає

спеціального обліку. Якщо вимагається перейти до многочлена  $Q_m(x)$  в звичайній формі, необхідно вирази  $P_{kn}(x)$ , складені по формулі (18), помножити на значення  $P_{kn}(0)$ , приведені в [3]. У ряді випадків шукана апроксимуюча функція не є многочленом, але може бути легко зведена до нього заміною змінних. Ряд таких функцій з вказівкою необхідної заміни змінних приведені в [3].

Крок 4.3.

Визначається нове значення RTT як

$$RTT = RTT' + \gamma_2 \tilde{\sigma}, \quad (19)$$

де  $RTT'$  – апроксимоване значення часу отримання підтвердження.

Крок 5. Здійснюється повторне виконання кроків 3 та 4, при цьому значення нове RTT буде визначатися на кожному етапі передачі пакетів інформаційним напрямком, здійснюючи тим самим гнучку адаптацію до завадового стану каналів зв'язку та завантаженості комутаційних вузлів (рис. 1).

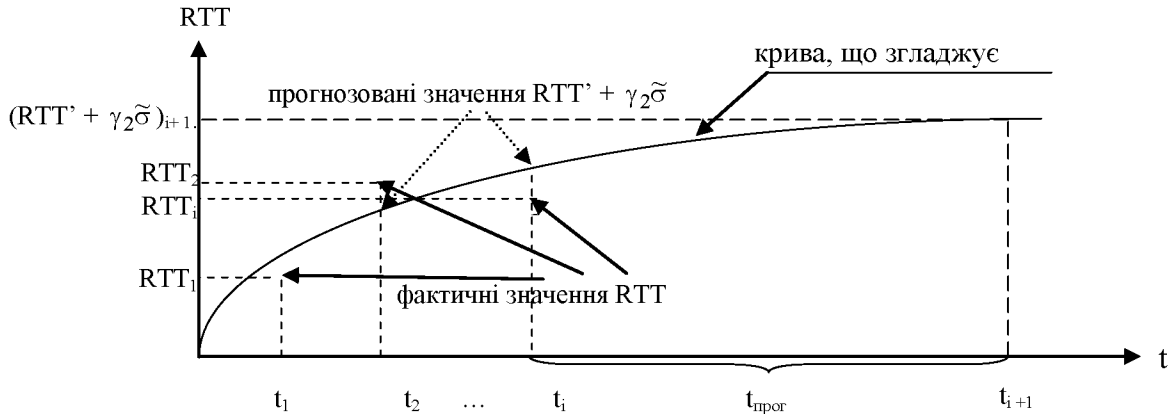


Рис. 1. Застосування методики управління таймерами в протоколі TCP при використанні методу ковзного вікна для прогнозування можливого значення RTT

### Висновки й перспективи подальших досліджень

В результаті проведених досліджень була розроблена методика управління таймерами в протоколі TCP при використанні методу ковзного вікна, сутність якої полягає у використанні на передаючому боці при визначенні граничного часу таймеру повторної передачі методу найменших квадратів, застосування якого дозволяє

здійснювати прогнозування часу передачі сегменту інформаційним напрямком шляхом екстраполяції

Використання розробленої методики дозволяє здійснювати гнучку адаптацію значення часу передачі сегменту інформаційним напрямком до завадового стану каналів зв'язку та завантаженості комутаційних вузлів, і як наслідок збільшити продуктивність телекомунікаційної мережі.

### Література

1. Таненбаум Э. Компьютерные сети. 4-е изд. / Э. Таненбаум // СПб.: Питер, 2003. — 992 с.  
 2. Колачов С. П. Вибір інтегрального показника ефективності функціонування інформаційної мережі спеціального призначення / С.П. Колачов, В.І. Глущкий // Збірник наукових праць ВІП НТУУ “КІП”. – Вип.

№ 6. – К.: ВІП НТУУ “КІП”, 2003. – С. 5 – 14.  
 3. Цыпкин А. Г. Справочник по математике для средних учебных заведений – 4-е изд., испр. и доп. / А. Г. Цыпкин // М.: Наука. Гл. ред. физ.-мат. лит., 1988. – 432 с.

Проведен анализ существующих методов управления таймерами в протоколе TCP при использовании метода скользящего окна. Разработана методика, использование которой позволит избежать лишних повторов передач пакетов и повысит продуктивность проводной телекоммуникационной сети.

*Ключевые слова:* TCP, метод скользящего окна, кадр, аппроксимирующая функция, метод наименьших квадратов.

In the article is presented analysis existing methods of management timer in TCP protocol when use the slithering window method. The designed methods, use which will allow to avoid the spare repetition of the issues package and raise productivity to wire telecommunication network.

*Keywords:* TCP, slithering window method, frame, approximating function, least square method.