

УДК 621.396

М. М. ІВЧЕНКО;

В. Ф. ЗАЙКА, доктор техн. наук, доцент;

О. Б. БАЙДУР;

О. В. СЕНЬКОВ,

Державний університет телекомунікацій, Київ

Методика прогнозування значення таймера повторного передавання сегментів у протоколі TCP у телекомунікаційних мережах із застосуванням технології MPLS

Проведено аналіз наявних методів управління таймерами в протоколі TCP. Розглянуто методику прогнозування значення таймера повторного передавання сегментів у протоколі TCP у телекомунікаційних мережах із застосуванням технології MPLS, розроблення якої дасть можливість уникнути зайвих повторів передавання пакетів та підвищити продуктивність проводової телекомунікаційної мережі.

Ключові слова: телекомунікаційна мережа; таймер повторного передавання; підвищення продуктивності інформаційного напрямку; квитанції; сегмент; протокол TCP; час очікування; квадратична функція; метод ковзного вікна; метод найменших квадратів.

Вступ

Постановка проблеми. Існує відома проблема керування таймерами в протоколі TCP [1]. Від вибору значень таймерів залежить ефективна пропускна здатність телекомунікаційної мережі і, якщо для таймера час очікування на рівні передавання даних доволі легко можна передбачити, та існують алгоритми, які дозволяють це ефективно зробити, то на транспортному рівні передбачення таймера повторного передавання даних є набагато складнішим завданням [1].

Загальновідомий алгоритм передбачення значення таймера повторного передавання в протоколі TCP, який розробив Джекобсон у 1988 році, має невелику обчислювальну складність завдяки використанню лінійної функції для оцінювання середньоквадратичного відхилення, але не має достатньої ефективності через жорстко фіксовані значення вагового та злагоджувального коефіцієнтів у разі виникнення перевантажень [2].

У реальних каналах зв'язку завадний стан і перевантаженість вхідних буферів нагромаджувачів є величини стохастичні, тому середнє значення і дисперсія часу прийняття та підтвердження переданих сегментів (пакетів) можуть змінюватися всього за кілька секунд під час виникнення й усунення перевантаження. Як вирішення зазначеного питання може слугувати використання динамічного алгоритму, що постійно змінює період очікування, ґрунтуючись на вимірюванні часу передавання сегмента.

Огляд останніх досліджень і публікацій. Управління інформаційним потоком у мережах, що працюють згідно з протоколом TCP, здійснюється за допомогою таймера повторного передавання [1–3], що спрацьовує при відправленні сегмента

в мережу. Якщо квитанція на відправлений сегмент надходить до передавального боку раніше, ніж таймер відрахує час очікування, то вважається, що цей сегмент було доставлено успішно, а якщо до моменту вичерпання часу очікування квитанцію на відправлений сегмент не буде одержано, то цей сегмент передається повторно.

Неправильний вибір часу очікування може значно знизити ефективність мережі. За малого значення часу очікування виникають зайві повторні передавання та переповнення мережі непотрібними сегментами, а занадто велике значення часу очікування спричинює марну витрату часу на чекання квитанції, якщо вона не надійде. В обох випадках зменшується корисна швидкість передавання інформації.

Як було вже зазначено, вибір часу очікування в мережах TCP здійснюється на основі використання алгоритму Джекобсона [1–3].

Згідно з цим алгоритмом для кожного з'єднання в протоколі TCP передбачено розрахунок змінної RTT :

$$RTT = \alpha RTT + (1 - \alpha)M, \quad (1)$$

де α — ваговий коефіцієнт, який звичайно дорівнює $7/8$.

Після одержання кожної квитанції передбачається розрахунок злагодженого абсолютного відхилення між очікуваним значенням RTT та виміряним M :

$$D = \alpha D + (1 - \alpha) |RTT - M|, \quad (2)$$

а час очікування, що встановлюється на передавальному боці, розраховується за формулою

$$TA = RTT + 4D. \quad (3)$$

Хоча використання даного методу управління таймерами відзначається простотою обчислень, основним його недоліком є те, що при управлінні

інформаційним потоком недостатньо враховано специфіку різних мереж через використання фіксованих коефіцієнтів [4].

Тому найбільш актуальною є розробка нового методу управління таймером повторного передавання, який уможливилюватиме підвищення ефективності функціонування телекомунікаційних мереж, що працюють згідно з протоколом ТСП.

Формулювання завдання дослідження. З огляду на зазначене, прийняті сьогодні методи управління таймерами в протоколі ТСП при використанні методу ковзного вікна є недостатньо ефективними через жорстко фіксовані значення вагового і злагоджувального коефіцієнтів.

Для розв'язання цієї проблеми скористаємось динамічним алгоритмом, який, ґрунтуючись на вимірюванні часу передавання сегмента, постійно змінює період очікування.

Таким чином, *мета статті* — розробка методики прогнозування значення таймера повторного передавання сегментів у протоколі ТСП із використанням методу ковзного вікна у телекомунікаційних мережах із технологією MPLS.

Застосування даної методики дозволить підвищити продуктивність інформаційних напрямів, що підтверджує актуальність роботи для галузі зв'язку.

Основна частина

Сутність методики прогнозування значення таймера повторного передавання сегментів у протоколі ТСП полягає у використанні на передавальному боці граничного часу таймера повторного передавання, визначеного методом найменших квадратів, застосування якого дає змогу прогнозувати час передавання сегмента інформаційним напрямом через *екстраполяцію*.

Нехай структуру мережі задано матрицею зв'язності $A = \{a_{ij}\}$, а навантаження — матрицею $Z_{nc} = \{Z_{ij}\}$;

Також задано алгоритм вибору шляхів установлення з'єднань у напрямках зв'язку.

Припустимо, що телекомунікаційна мережа функціонує за умов статистичної рівноваги у разі найпростіших потоків заявок, що надходять у кожний інформаційний напрям.

Візьмемо інформаційний напрям як систему масового обслуговування з обмеженням на довжину черги, що має такі характеристики:

- кількість каналів обслуговування — h ;
- кількість місць у чергах — m ;
- ємність буфера нагромаджувача — ml ;
- потік пакетів — найпростіший (стаціонарний пуассонівський) зі щільністю λ ;
- час обслуговування сегмента $t_{обсл}$ — випадкова величина, що розраховується за виразом

$$t_{обсл} = \frac{2}{\rho_h}, \quad (4)$$

де ρ_h — швидкість передавання даних інформаційним напрямом;

- імовірність зайнятості каналів усіх шляхів мережі взаємно незалежна;
- час установлення з'єднання дорівнює нулю;
- технологія передавання — MPLS;
- пакети мають однакову тривалість 1;
- кожне вимірювання випадкової помилки часу передавання сегмента (пакета) характеризується нульовим середнім, що не залежить від значень спостережуваних змінних;
- дисперсії кожної випадкової помилки часу передавання сегмента (пакета) однакові і не залежать від значень спостережуваних змінних (гомоскедастичність);
- відсутня автокореляція помилок вимірювання часу передавання пакета, тобто значення помилок різних спостережень не залежать одна від одної.

Реалізацію методики прогнозування часу передавання сегментів під час управління таймерами в протоколі ТСП з використанням методу ковзного вікна у телекомунікаційних мережах уже було досліджено в роботі [5], але запропонований алгоритм із застосуванням поліномів Чебишева має надто велику обчислювальну складність. Зважаючи на те, що ці обрахунки потрібно виконувати в реальному часі під час передавання даних, занадто висока складність алгоритму може значно обмежити вибір обладнання, в якому він може бути застосований.

Аналіз, проведений у [6], показує, що значення таймера повторного передавання є інтегральною функцією довжини сегмента передавання. З огляду на це, а також і те, що час очікування лінійно залежить від довжини сегмента, апроксимуючий поліном можна обмежити другим ступенем, що дозволить значно зменшити обчислювальну складність алгоритму.

Далі послідовно наведемо кроки розробленого нами алгоритму, який значно удосконалив алгоритм, запропонований у [5].

Крок 1. Визначаємо пропускну здатність маршруту інформаційного напрямку π_{ih} згідно з [2; 6].

Крок 2. Визначаємо змінну RTT , яка буде такою, що дорівнює значенню найбільшого часу отримання підтвердження для цього з'єднання (із урахуванням максимальної завантаженості вузлів та трактів):

$$RTT = \frac{1}{\pi_{ih}}. \quad (5)$$

Крок 3. Під час передавання сегмента запускається таймер, який вимірює фактичний час отримання підтвердження і заносить його до бази даних точки входу в мережу.

Крок 4. Виконується передавання наступного сегмента, при цьому коригується значення RTT за таким алгоритмом.

Нехай задано вибірку (x_i, RTT_i) з $(n+1)$ значень, де RTT_i — фактичний час отримання підтвердження при фіксованому значенні сегмента x_i .

Крок 4.1. Вибирається квадратична функція $F(x)$ так, щоб сума S квадратів відхилень ε_i

$$\varepsilon_i = RTT_i - F(x_i),$$

зверталася в мінімум, тобто з умови

$$s = \sum_{i=0}^n \varepsilon_i^2 = \min. \quad (7)$$

Нехай на основі апріорних відомостей маємо ймовірність того, що функція є квадратичною.

Потрібно знайти коефіцієнти a, b, c .

Маємо:

$$F(x) = \sum_{i=1}^n [RTT_i - (ax_i^2 + bx_i + c)]^2, \quad (8)$$

де $F(x)$ — функція трьох змінних a, b, c .

У такому разі система набуває вигляду

$$\begin{aligned} \sum_{i=1}^n [RTT_i - (ax_i^2 + bx_i + c)] x_i^2 &= 0; \\ \sum_{i=1}^n [RTT_i - (ax_i^2 + bx_i + c)] x_i &= 0; \\ \sum_{i=1}^n [RTT_i - (ax_i^2 + bx_i + c)] &= 0. \end{aligned} \quad (9)$$

Розв'язавши цю систему рівнянь, дістаємо значення коефіцієнтів a, b, c . Комп'ютерний алгоритм вирішення цієї системи має невисоку обчислювальну складність [7; 8] і може бути виконаний без істотних втрат продуктивності для розрахунків значень таймера повторного передавання кожного сегмента даних у реальному часі.

Крок 4.2. Дістаємо середні значення:

$$\bar{x} = \frac{\sum_{i=0}^n x_i}{n+1}, \quad (10)$$

$$\overline{RTT} = \frac{\sum_{i=0}^n RTT_i}{n+1}, \quad (11)$$

де \bar{x} — середній розмір сегмента; \overline{RTT} — середній час підтвердження.

Крок 4.3. Обчислюємо дисперсію для побудованого прогнозу за формулами

$$D_{RTT} = \frac{\sum_{i=0}^n (RTT_i - F(x_i))^2}{n}, \quad (12)$$

$$D_x = \frac{\sum_{i=0}^n x_i^2}{n+1} - \bar{x}^2, \quad (13)$$

де D_{RTT}, D_x — дисперсія відповідно для набору значень RTT_i і x_i .

Обчислюємо середньоквадратичне відхилення значень RTT_i і x_i , які дадуть можливість оцінити якість побудованого прогнозу в реальному часі,

а також використати їх у подальшому тестуванні алгоритму для оцінювання його ефективності:

$$\sigma_x = \sqrt{D_x}; \quad (14)$$

$$\sigma_{RTT} = \sqrt{D_{RTT}}. \quad (15)$$

Крок 4.4. Визначаємо довірчий інтервал для середньоквадратичного відхилення, щоб побудувати верхню межу прогнозу значення RTT .

Для цього знайдемо середньоквадратичну похибку прогнозованого показника S_{RTT} :

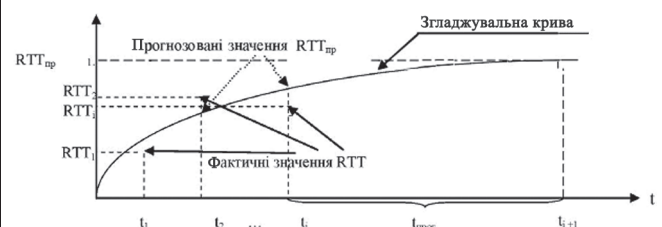
$$S_{RTT} = \sqrt{\frac{\sum_{i=0}^n (F(x_i) - \overline{RTT})^2}{n}}. \quad (16)$$

Оскільки прогноз будується тільки для одного значення RTT , уважатимемо період упередження таким, що дорівнює 1. Тоді верхню оцінку прогнозованого часу очікування розраховуватимемо за формулою

$$RTT_{\text{пр}} = F(x) + t_a \cdot S_{RTT} \cdot \sqrt{1 + \frac{1}{n} + \frac{3(n+1)}{n(n^2-1)}}. \quad (17)$$

де $RTT_{\text{пр}}$ — верхня оцінка прогнозованого часу отримання підтвердження; t_a — критерій Стьюдента, що вибирається згідно з таблицею [9; 10] відповідно до значення показника відсотка допустимої похибки a та кількості ступенів свободи, що дорівнює $n-2$ (оскільки прогноз побудовано за допомогою квадратичної функції). Зазвичай вибирають $a = 0,05$, що відповідає вірогідності знаходження прогнозованого значення 95%.

Крок 5. Здійснюється повторне виконання кроків 3 та 4, при цьому нове значення RTT буде визначатися на кожному етапі передавання пакетів інформаційним напрямом, здійснюючи тим самим гнучку адаптацію до завадового стану каналів зв'язку і завантаженості комутаційних вузлів. Результати функціонування алгоритму зображено на рисунку.



Порівняння результатів прогнозування таймера повторного передавання RTT порівняно з фактичними його значеннями

Висновки

♦ У результаті проведених досліджень було розроблено вдосконалену методику прогнозування значення таймера повторного передавання сегментів у протоколі TCP із використанням методу ковзного вікна у телекомунікаційних мережах із технологією MPLS,

♦ У даній методиці для визначення верхньої оцінки часу таймера повторного передавання в

протоколі TCP було використано метод найменших квадратів, що дозволив дістати дане значення екстраполяцією квадратичної функції. На відміну від інших схожих методик, запропонований алгоритм має порівняно невисоку обчислювальну складність і достатньо точно будує прогноз, що підтверджує актуальність проведеного дослідження.

♦ Запропонований алгоритм у розробленій нами методиці дозволяє замінити собою недостатньо ефективний у мережах із великими навантаженнями алгоритм Джекобсона, підвищивши продуктивність телекомунікаційної мережі в цілому.

Список використаних джерел

1. Паркер Т. TCP/IP Для професіоналов. 3-е изд. СПб.: Питер, 2004. С. 859.
2. Alekseev I. V. Compensation Mechanism for Adaptive Rate TCP. // 1-St International IEEE Seminar Internet: Technologies and Services. October 1999. P. 68–75.
3. Скляр Б. Цифровий зв'язок. Теоретичні основи та практичне застосування. Москва: Видавничий дім «Вільямс», 2003. 215 с.

4. Метод управління таймером повторної передачі в інформаційних мережах, що працюють згідно з протоколом TCP / К. О. Польщиков, О. О. Лаврут, М. М. Александров, В. М. Власюк // Радіоелектронні і комп'ютерні системи. 2007. Вип. 6 (25).

5. Ромащенко Р. А. Методика управління таймерами в протоколі TCP при використанні методу ковзного вікна // Сучасні інформаційні технології у сфері безпеки та оборони. 2012. № 2(14). С. 57–59.

6. Колачов С. П., Глуцький В. Г. Вибір інтегрального показника ефективності функціонування інформаційної мережі спеціального призначення: зб. наук. праць ВІТІ НТУУ «КПІ». 2003. Вип. № 6. С. 5–14.

7. Теорія ймовірностей та математична статистика: навч. посіб. / О. І. Кушлик-Дивульська, Н. В. Поліщук, Б. П. Орел, П. І. Штаблук. К.: НТУУ «КПІ», 2014. 212 с.

8. Жильцов О. Б. Теорія ймовірностей та математична статистика у прикладах і задачах: навч. посіб. / за ред. Г. О. Михаліна. К.: ун-т ім. Б. Грінченка, 2015. 336 с.

9. Ralph W. Bailey. Polar Generation of Random Variates with the t-Distribution // Mathematics of Computation. 1994-01-01. Vol. 62(206). P. 779–781. DOI:10.2307/2153537.

10. Sheynin O. Helmer's work in the theory of errors (англ.) // Arch. Hist. Exact Sci. 1995. Vol. 49. P. 73–104. DOI:10.1007/BF00374700.

Рецензент: доктор техн. наук, ст. наук. співробітник, М. П. Трембовецький, Державний університет телекомунікацій, Київ.

Н. Н. Івченко, В. Ф. Заика, А. В. Байдур, О. В. Сеньков

МЕТОДИКА ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ЗНАЧЕНИЯ ТАЙМЕРА ПОВТОРНОЙ ПЕРЕДАЧИ СЕГМЕНТОВ В ПРОТОКОЛЕ TCP В ТЕЛЕКОМУНИКАЦИОННЫХ СЕТЯХ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ТЕХНОЛОГИИ MPLS

Проведен анализ существующих методов управления таймерами в протоколе TCP. Рассмотрена методика прогнозирования значения таймера повторной передачи сегментов в протоколе TCP в телекоммуникационных сетях с применением технологии MPLS, разработка которой позволит избежать лишних повторов передач пакетов и повысит производительность проводной телекоммуникационной сети.

Ключевые слова: телекоммуникационная сеть; таймер повторной передачи; повышение производительности информационного направления; квитанции; сегмент; протокол TCP; время ожидания; квадратичная функция; метод скользящего окна; метод наименьших квадратов.

M. M. Ivchenko, V. F. Zaika, O. V. Baydur, O. V. Senkov

A METHOD FOR PREDICTING THE VALUE OF A TIMER FOR RETRANSMISSION OF SEGMENTS IN THE TCP PROTOCOL IN TELECOMMUNICATION NETWORKS USING MPLS TECHNOLOGY

In this article, an analysis of existing methods for controlling timers in the TCP protocol is carried out. The developed method for predicting the value of the timer for retransmission of segments in the TCP protocol in telecommunications networks using MPLS technology, the development of which will avoid unnecessary packet repetition and will improve the performance of a wired telecommunications network.

In real purchasing channels, and the input buffers of large drives are set up, the average value and the time variance are taken and confirmed by the transmitted addresses (packets) can only be changed several times per minute while browsing. The solution of this question can be used with the use of a dynamic algorithm, which constantly changes the waiting period, close to the values of time.

As a result of the conducted research, an advanced method for forecasting the value of the timer for retransmission of segments in the TCP protocol was developed with the use of a sliding window method in telecommunication networks with MPLS technology.

In this method, the method of least squares was used to determine the upper estimate of the retransmission timer in the TCP protocol, which allowed obtaining this value by extrapolating the quadratic function. Unlike other similar techniques, the proposed algorithm has a comparatively low computational complexity and accurately builds a prediction that confirms the relevance of the research.

The proposed algorithm in the method developed by us allows us to replace the Jacobson algorithm, which is not effective in networks with high loads, and thereby increase the productivity of the telecommunication network in general.

Keywords: telecommunication network; retransmission timer; performance enhancement of information direction; receipts; segment; TCP protocol; latency; quadratic function; sliding window method; least squares method.