УДК 004.7:519.87(043.3):621.391

ВИКОРИСТАННЯ ФУНКЦІЙ ЧУТЛИВОСТІ ДЛЯ КОНТРОЛЮ ЗАТОРІВ В ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЙНИХ МЕРЕЖАХ

DOI 10.36994/2707-4110-2019-1-22-07

Торошанко Я. І., к.т.н., Державний університет телекомунікацій, Київ, Україна. toroshanko@ukr.net

Якимчук Н. М., Луцький національний технічний університет, Луцьк, Україна. selepyna@ukr.net

Анотація. Розглянута схема контролю заторів з використанням зворотного зв'язку по знаку функції чутливості продуктивності телекомунікаційної мережі. Знак чутливості продуктивності (цільової функції) надає оптимальний напрям для налаштування швидкості джерела даних. Найбільш поширеною схемою контролю двійкових повідомлень зворотного зв'язку про можливі перевантаження мережі є виявлення і установка біта затору на основі довжини черги вхідних пакетів. Основна перевага схеми на основі черг є її низька складність: довжину черги можна контролювати за допомогою одного лічильника. Проте, цей метод може створювати великі черги в мережевих вузлах. Виявлення створеного затору повинно затриматися на певний час, необхідний для створення черги. Аналогічно, виявлення рішення затору також затримується на певний час, необхідний для оброблення черги. Для визначення знаку функції чутливості продуктивності телекомунікаційної мережі запропоновано використання простої нейронної мережевої моделі динамічної системи. Розроблений алгоритм оптимального управління забезпечує формування керуючого сигналу таким чином, щоб вихід системи відповідав як можна ближче заздалегідь встановленим характеристикам мережі. Запронована модель для багатокрокового передбачення стану черги. Результати моделювання запропонованої схеми показують, що схема на основі чутливості має кращу продуктивність в порівнянні зі звичайною схемою черги вибору порога. Схема на основі функції чутливості дає менші коливання в розмірі черги і швидкостях джерела. Причому, коливання суттєво не відрізняються, навіть якщо існують великі зміни в швидкостях обслуговування вузьких місць черги в телекомунікаційній мережі чи її фрагментах.

Ключові слова: телекомунікаційна мережа, функція чутливості, нейронна мережа, динамічна система, управління чергою, затор, перевантаження, передбачення стану черги.

USING SENSITIVITY FUNCTION FOR CONGESTION CONTROL IN TELECOMMUNICATION NETWORK

Yaroslav Toroshanko, Ph.D., State University of Telecommunications, Kyiv, Ukraine. toroshanko@ukr.net

Nikolay Yakymchuk, Lutsk National Technical University, Lutsk, Ukraine.
selepyna@ukr.net

Annotation. *The scheme of control of congestion with the use of feedback on the sign of the sensitivity function of productivity of the telecommunication network is considered. The performance sensitivity sign (target function) provides the optimal direction for adjusting the speed of the data source. The most common scheme for controlling binary feedback feedback messages about possible network congestion is to detect and set the congestion bit based on the length of the incoming packet queue. The main advantage of a queue-based scheme is its low complexity: the length of the queue can be controlled by a single counter. However, this method can create large queues in network nodes. Detecting the created mash should be delayed for some time to create the queue. Similarly, the detection of a congestion solution is also delayed by the time required to process the queue. To determine the sensitivity function of the network performance, it is proposed to use a simple neural network model of the dynamic system. The developed optimal control algorithm provides the formation of a control signal in such a way that the output of the system is as close as possible to the pre-established characteristics of the network. The model for the backtroque prediction of the queue state is proposed. The results of the simulation of the performance of the proposed scheme show that the scheme based on sensitivity has better performance compared with the usual scheme of choosing the threshold. A sensitivity-based circuit gives smaller variations in queue size and source speeds. Moreover, fluctuations are not significantly different, even if there are large changes in the service speeds of bottlenecks in the telecommunication network or its fragments.*

Keywords: *telecommunication network, sensitivity function, neural network, dynamic system, queue management, congestion, overload, predicting the status of the queue.*

Вступ

Критерії оцінювання і оптимізації ключових показників ефективності функціонування мережі, як складної системи, є вкрай неоднозначними і суперечливими, що можна об'яснити динамічними змінами поточного стану мережі, її завантаженістю та іншими зовнішніми впливами [1, 2].

Значна кількість робіт і рішень щодо прогнозування параметрів та стану мережі пов'язані з ростом обчислювальної складності при вирішенні цих задач [3–5]. В роботі [4] запропонований метод, в основі якого лежить екстраполяція за квадратичним поліномом. Практичне використання цього методу ускладнюється, воно потребує великої кількості вимірювань на надто коротких інтервалах часу.

У роботах [6] досліджуються питання функціонування мережі в умовах застосування ненадійних вузлів і елементів, тобто резервування за логікою « m з n », а також гарячого резервування кожного комутаційного вузла і постійного порівняння станів реального об'єкту з еталоном (активна реплікація) Такий підхід вимагає суттєвого ускладнення і дорожчання системи в цілому.

Важливу роль у визначенні і оптимізації ключових показників ефективності телекомунікаційних мереж відіграють показники чутливості складних систем, які забезпечують оцінювання і додаткове розуміння поведінки системи.

В роботах [7, 8] розглянуті основні підходи щодо оцінювання і оптимізації ключових показників ефективності телекомунікаційних мереж на основі показників чутливості складних систем. Визначена категорія чутливості складних систем як математичного показника, показана доцільність використання математичного апарату аналізу чутливості складних систем в задачах управління перевантаженнями в комп'ютерних телекомунікаційних мережах.

В [9] розглянуті способи і методи визначення чутливості вихідних характеристик телекомунікаційних мереж як систем масового обслуговування, в основу яких покладені моделі управління чергою для адаптації регульованого доступу зовнішнього трафіка в систему для отримання очікуваної межі продуктивності.

Метою дослідження є вдосконалення і розробка способу контролю заторів в телекомунікаційній мережі з використанням зворотного зв'язку по знаку функції чутливості продуктивності мережі.

Бітовий контроль заторів

Схема двійкового бітового контролю реалізується за принципом зворотного зв'язку [10]. Мережа надає деяку інформацію про стан завантаженості, даючи бінарну індикацію про те, чи зустрілись затори впродовж з'єднання. Значення «0» біта затору, згенероване джерелом даних в заголовку пакета, означає відсутність заторів. Будь-який вузол вздовж шляху може встановити значення біта затору в пакеті в «1», щоб показати затор в цьому вузлі. Кінцева система контролює біти затору отриманих пакетів і повертає повідомлення зворотного зв'язку до джерела з інформацією про затори. Тоді джерело інформації налаштовує швидкість і збільшує її адитивним способом (коли повідомлення зворотного зв'язку повідомляє про відсутність заторів) чи зменшує мультиплікативним способом (коли повідомлення зворотного зв'язку повідомляє про затор).

Розглянемо схему контролю двійкового затору повідомлення із зворотнім зв'язком по знаку чутливості функції продуктивності системи. Знак чутливості продуктивності дії надає оптимальний напрям для налаштування швидкості джерела даних [9]. Запропонована схема для визначення функції чутливості використовує просту нейронну мережеву модель динамічної системи.

Налаштування біта затору за показником довжини черги

Виявлення затору і установка біта затору на основі довжини черги є найпростішою і зазвичай використовуваною схемою контролю двійкових повідомлень зворотного зв'язку про затори. Стан затору традиційно визначається середньою чи миттєвою швидкістю очікуваних пакетів $q(n)$ в міжмодовому зв'язку чи пункті призначення буфера кінцевої системи в момент часу n (рис. 1). Коли довжина черги досягає попередньо визначеного граничного значення r , пакети, що проходять крізь чергу матимуть біт затору, встановлений в стан «підтверджене перевантаження».

Основна перевага схеми на основі черг є її низька складність, тому що абсолютну довжину черги можна контролювати за допомогою одного лічильника. Проте, цей метод не є ефективним для виявлення затору і контролю, також він може створювати великі черги в мережевих вузлах. Виявлення створеного затору

повинно затриматися на певний час, необхідний для створення черги. Аналогічно, виявлення рішення затору також затримується на певний час, необхідний для оброблення черги. Для управління «адитивним збільшенням / мультиплікативним зниженням» швидкості джерела маємо:

$$\lambda(n+1) = \begin{cases} \lambda(n) + a, & q(n-\tau) < r \text{ or } e(n-\tau) > 0 \\ m_D \lambda(n), & q(n-\tau) \geq r \text{ or } e(n-\tau) \leq 0, \end{cases} \quad (1)$$

де $a_i > 0$ — фактор адитивного збільшення;

$0 < m_D < 1$ — фактор мультиплікативного зниження;

$e(n-\tau) = r - q(n-\tau)$ — функція помилки;

τ — затримка в передачі стану черги затору до джерела.

Рис. 1. Встановлення біта затору на основі довжини черги

Оптимізаційний підхід для налаштування біта затору

Нехай динаміка системи обслуговування виражена наступним рівнянням введення-виведення:

$$q(n+1) = f[q(n), q(n-1), \dots, q(n-l), \lambda(n), \lambda(n-1), \dots, \lambda(n-m)], \quad (2)$$

де $q(n)$ — скалярний вихід (тобто довжина черги або затримки обслуговування);

$\lambda(n)$ — скалярний вхід (тобто, швидкість черги на вході);

$f[\cdot]$ — невідома функція, оцінювана за допомогою нейронної мережі;

l, m — відповідно, порядки $\{q(n)\}, \{\lambda(n)\}$.

Метою алгоритму оптимального управління є обрання керуючого сигналу $\lambda(n)$, таким чином, щоб вихід системи $q(n)$ відповідав як можна ближче заздалегідь встановленим характеристикам $r(n)$ (як правило, $r(n) = r = \text{const}$). Послідовно-паралельна нейронна модель [11] невідомої системи (2) може бути виражена як:

$$\hat{q}(n+i) = \hat{f}[q(n), \dots, q(n-l), \lambda(n), \dots, \lambda(n-m)], i = 1, 2, \dots, L, \quad (3)$$

де $\hat{q}(n+i)$ — вихід нейронної мережі;

$\hat{f}$ — оцінка f ;

L — горизонт передбачення (рис. 2).

Рис. 2. Модель для багатокрокового передбачення стану черги

Якщо нейронна мережа налаштована на відслідковування динаміки системи і показує, що квадратична помилка $(q(n+i) - \hat{q}(n+i))^2 = \varepsilon$ є незначною, вважається, що i -й крок відповідає наперед передбаченому виходу системи (2). Як результат, керуючий сигнал може бути обраний таким чином, що $\hat{q}(n+i)$ знаходиться якомога ближче до r .

Для нашого випадку визначимо функцію витрат наступним чином:

$$J = \frac{1}{2} \varepsilon^2(n+i) = \frac{1}{2} [r - \hat{q}(n+i)]^2, i = 1, 2, \dots, L. \quad (4)$$

Керуючий сигнал $\lambda(n)$ (тобто, швидкість джерела даних) повинен бути обраний, щоб мінімізувати J . В дискретному випадку керуюча змінна оновлюється відповідно до наступного правила градієнтного спуску:

$$\lambda(n+1) = \lambda(n) + \Delta\lambda(n) = \lambda(n) - \eta \frac{\partial J}{\partial \lambda(n)}, \quad (5)$$

де η є розміром кроку управління.

Можна побачити, що процес мінімізації (5) спирається на наближення, зроблене нейронною мережею, щоб визначити відповідний керуючий сигнал. Тому необхідно, щоб $\hat{q}(n+i)$ наближалася до виходу дійсної системи $q(n+i)$ асимптотично. Це може бути досягнуто шляхом підтримки навчання нейронної мережі онлайн.

Диференціюючи (4) по відношенню до $\lambda(n)$, отримаємо:

$$\nabla J(n) = \frac{\partial J}{\partial \lambda(n)} = -\varepsilon(n+i) \frac{\partial \hat{q}(n+i)}{\partial \lambda(n)}, i = 1, 2, \dots, L, \quad (6)$$

де $\partial \hat{q}(n+i) / \partial \lambda(n)$ відомий, як чутливість чи градієнт системи.

Підставляючи (6) в (5), отримуємо:

$$\lambda(n+1) = \lambda(n) + \eta e(n+i) \frac{\partial \hat{q}(n+i)}{\partial \lambda(n)}, i = 1, 2, \dots, L. \quad (7)$$

Градієнт системи може бути аналітично оцінено, використовуючи відому структуру нейронної мережі [11].

Вираз (5) може бути представлений у вигляді:

$$\lambda(n+1) = \lambda(n) - \eta \operatorname{sgn}[\nabla J(n)], \quad (8)$$

де $\operatorname{sgn}[\nabla J(n)]$ позначає знак $\nabla J(n)$, який може бути додатним чи від'ємним.

Таким чином можна зробити висновок, що (8) реалізує алгоритм регулювання «адитивного збільшення/зменшення» швидкості джерела, який заснований на пороговому заповненні черги і визначає зміну в швидкості джерела даних $\lambda(n)$ в залежності від знаку чутливості показника продуктивності

Значення ∇J , обчисленого за допомогою формули (6) дає оптимальний напрямок для регулювання швидкості джерела. Іншими словами, тільки знак, а не величина ∇J має значення в цьому випадку.

Висновки

Запропонований алгоритм для оптимального визначення біта затору керуючої схеми на основі нейронної мережі. Алгоритм використовує функцію чутливості продуктивності системи для створення зворотного зв'язку від мережі до джерел даних. Використання функції чутливості продуктивності системи дозволяє виявити затор своєчасно, і це призводить до своєчасної реакції управління зворотним зв'язком з джерелами даних.

Результати моделювання показують, що схема на основі чутливості має кращу продуктивність в порівнянні зі звичайною схемою черги вибору порога. Схема на основі функції чутливості дає менші коливання в розмірі черги і швидкостях джерела. Причому, коливання суттєво не відрізняються, навіть якщо існують великі зміни в швидкостях обслуговування вузьких місць черги.

Література

1. Reliability, Survivability and Quality of Large Scale Telecommunication Systems: Case Study: Olympic Games / Peter Stavroulakis (Editor). — John Wiley & Sons, Ltd, 2003. — 370 p.
2. Parmenter D. Key Performance Indicators (KPI): Developing, Implementing, and Using Winning KPIs / D. Parmenter. — 2-d edition. — John Wiley & Sons, 2010. — 320 p.
3. Tie Liu. Reliable telecommunication network design problem under node failure / Tie Liu, Wenguo Yang, Ruguo Bu, Jun Huang // 11th International Symposium on Operations Research and its Applications in Engineering, Technology and Management 2013 (ISORA 2013), IET Huangshan, China. — August 23–25, 2013. — P. 1–8.

4. Salfner F. A Survey of Online Failure Prediction Methods // Felix Salfner, Maren Lenk, Mirosław Malek. — ACM Computing Surveys / F. Salfner. — March 2010. — Vol. 42, No. 3, Article 10. — 42 p.
5. Weiss G. M. Predicting Telecommunication Equipment Failures from Sequences of Network Alarms / G. M. Weiss // Handbook of data mining and knowledge discovery. — Oxford University Press, Inc. New York, NY, USA, 2002. — P. 891–896.
6. Mızrak A. T. Detecting Malicious Routers // Ph. D. Dissertation, University of California, San Diego, CA, 2007. — 155 pp.
7. Shooman M.L. Reliability of Computer Systems and Networks — Fault Tolerance, Analysis and Design / M.L. Shooman. — John Wiley & Sons, Inc., New York, 2002. — 546 p.
8. Торошанко Я. І. Управління надійністю телекомунікаційної мережі на основі аналізу чутливості складних систем / Я. І. Торошанко // Телекомунікаційні та інформаційні технології. — 2016. — № 3. — С. 31–36.
9. Торошанко Я. І. Аналіз чутливості систем масового обслуговування на основі моделі адаптації і регулювання зовнішнього трафіка / Я. І. Торошанко // Вісник Хмельницького національного університету. — 2016. — № 6(243). — С. 171–175.
10. Мельников Д.А. Информационные процессы в компьютерных сетях // Москва. — 1999. — 256 с.
11. Aweya J. Neural Sensitivity Methods for the Optimization of Queueing Systems / J. Aweya, Q.J. Zhang, D. Y. Montuno // World Multicorference on Systemics, Cybernetics and Informatics (SC1998), July 12–16, 1998, Orlando. Florida. — PP. 638–645.

References

1. Reliability, Survivability and Quality of Large Scale Telecommunication Systems: Case Study: Olympic Games / Peter Stavroulakis (Editor). — John Wiley & Sons, Ltd, 2003. — 370 p.
2. Parmenter D. Key Performance Indicators (KPI): Developing, Implementing, and Using Winning KPIs / D. Parmenter. — 2-d edition. — John Wiley & Sons, 2010. — 320 p.
3. Tie Liu. Reliable telecommunication network design problem under node failure / Tie Liu, Wenguo Yang, Ruguo Bu, Jun Huang // 11th International Symposium on Operations Research and its Applications in Engineering, Technology and Management 2013 (ISORA 2013), IET Huangshan, China. — August 23–25, 2013. — P. 1–8.
4. Salfner F. A Survey of Online Failure Prediction Methods // Felix Salfner, Maren Lenk, Mirosław Malek. — ACM Computing Surveys / F. Salfner. — March 2010. — Vol. 42, No. 3, Article 10. — 42 p.
5. Weiss G. M. Predicting Telecommunication Equipment Failures from Sequences of Network Alarms / G. M. Weiss // Handbook of data mining and knowledge discovery. — Oxford University Press, Inc. New York, NY, USA, 2002. — P. 891–896.
6. Mızrak A. T. Detecting Malicious Routers // Ph. D. Dissertation, University of California, San Diego, CA, 2007. — 155 pp.

7. Shooman M.L. Reliability of Computer Systems and Networks — Fault Tolerance, Analysis and Design / M.L. Shooman. — John Wiley & Sons, Inc., New York, 2002. — 546 p.

8. Toroshako Ya. I. Reliability management of telecommunication network on the basis of sensitivity analysis of complex systems / Ya. I. Toroshanko // Telecommunications and information technologies. — 2016. — № 3. — P. 31–36.

9. Toroshanko Ya. I. Sensitivity analysis of queuing systems based on the model of adaptation and regulation of external traffic / Ya. I. Toroshanko // Bulletin of Khmelnytsky National University. — 2016. — № 6 (243). Pp. 171–175.

10. Melnikov D. A. Information processes in computer networks // Moscow. — 1999. — 256 p.

11. Aweya J. Neural Sensitivity Methods for the Optimization of Queueing Systems / J. Aweya, Q.J. Zhang, D. Y. Montuno // World Multiconference on Systemics, Cybernetics and Informatics (SC1998), July 12–16, 1998, Orlando. Florida. — PP. 638–645.