

Торошанко Я.И., Державний університет телекомунікацій

УПРАВЛІННЯ НАДІЙНІСТЮ ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЙНОЇ МЕРЕЖІ НА ОСНОВІ АНАЛІЗУ ЧУТЛИВОСТІ СКЛАДНИХ СИСТЕМ

Toroshanko Ya.I. Management reliability of telecommunication network on the analysis of sensitivity of the complex systems. The category of sensitivity of the complex systems is certain as a mathematical index which is provided additional understanding of conduct of the system. Analytical expressions are presented for determination of singleparameter and multiparameter sensitiveness of the complex systems. Vectorial presentation of analytical expressions is offered for a многопараметрической sensitivity. The features of their application are rotined depending on the values of system function and its arguments.

The basic tasks of system researches are certain in area of sensitivity of the complex systems. It is rotined the expedience of the use of mathematical vehicle of analysis of sensitivity of the complex systems in the tasksof management congestions in computer telecommunication networks by adaptive prediction control of the network.

Keywords: telecommunication network, sensitiveness, complex system, routing, congestion, reliability management

Торошанко Я.И. Управление надёжностью телекоммуникационной сети на основе анализа чувствительности сложных систем. Визначена категорія чутливості складних систем як математичного показника, який забезпечує додаткове розуміння поведінки системи. Представлені аналітичні вирази для визначення однопараметричної і багатопараметричної чутливості складних систем. Показана доцільність використання математичного апарату аналізу чутливості складних систем в задачах управління перевантаженнями в комп'ютерних телекомунікаційних мережах шляхом адаптивного передбачуваного управління мережею.

Ключові слова: телекомунікаційна мережа, чутливість, складна система, маршрутизація, перевантаження, управління надійністю

Торошанко Я.И. Управление надёжностью телекоммуникационной сети на основе анализа чувствительности сложных систем. Определена категория чувствительности сложных систем как математического показателя, который обеспечивает дополнительное понимание поведения системы. Представлены аналитические выражения для определения однопараметрической и многопараметрической чувствительности сложных систем. Показана целесообразность использования математического аппарата анализа чувствительности сложных систем в задачах управления перегрузками в компьютерных телекоммуникационных сетях путем адаптивного предсказующего управления сетью.

Ключевые слова: телекоммуникационная сеть, чувствительность, сложная система, маршрутизация, перегрузка, управление надёжностью

1. Вступ. Постановка задачі

Основними задачами при створенні мереж з комутацією пакетів є розробка топології, забезпечення пропускнуої спроможності, процедура маршрутизації, забезпечення достовірної передачі інформації, процедура управління трафіком, управління надійністю мережі. Існують різні методи реалізації процедури маршрутизації (прокладення маршруту пересування пакету в мережі): фіксовані або адаптивні, локальні або централізовані, детерміністичні або стохастичні [1, 2].

Найбільш важливою вимогою до процедури маршрутизації є доставка пакетів даних від відправника (джерела) до адресата з мінімальною затримкою і розподіл трафіку так, щоб уникнути або звести до мінімуму перевантаження мережі.

Комп'ютерна мережа є набором ресурсів, які можуть використовуватися конкуруючими користувачами (повідомленнями). Тут ми посилаємося на "користувачів" як на повідомлення для відправки.

Ресурси таких мережпідрозділяються на два основні класи [3, 4]:

- основний: розмір буфера, пропускна спроможність мережі, час обробки даних;
- другорядний: простір для імені, таблиці входів, логічні канали і т. інш.

У наборі ресурсів існують певні обмеження: скінченна здатність системи, яка є причиною конфлікту між користувачами системи. Ці конфлікти можуть привести до зниження продуктивності системи, внаслідок чого виникнуть певні ускладнення в роботі, і пропускна спроможність може звестись до нуля, що є типовою поведінкою "конкуруючих" систем. Навіть за наявності найкращої процедури маршрутизації під час перевантаження в мережі неминуче зниження пропускної спроможності (продуктивності). Мережі не приймають всі скачки вхідного трафіку без попереднього контролю.

Існують певні правила, за допомогою яких відбувається управління прийомом трафіку ззовні і координація потоку в мережі [4, 5].

Незважаючи на значну кількість літератури та наукових досліджень по управлінню перевантаженнями, визначення перевантаження так і не було і не стало однозначним.

Згідно одному з них, перевантаження – це втрата ефективності у зв'язку із збільшенням мережевого завантаження[4, 6].

Інший підхід з погляду користувача – це втрата користі мережевому клієнтові із-за перевантаження в обладнанні мережі. Отже, управління перевантаженням є набором механізмів, які запобігають або зменшують таке погіршення якості надання послуг.

Основні ідеї і методи для управління перевантаженням в комп'ютерних мережах досліджені і висвітлені в багатьох літературних джерелах починаючи з 70-х років минулого століття [1, 4, 7-10]. Проте, зі стрімким розвитком технічних засобів обробки і передачі інформації, мережних і інформаційних технологій інтерес до досліджень в даному напрямку постійно зростає.

Вищесказане обумовлює актуальність задачі дослідження методів визначення чутливості систем передачі інформації до змін ключови параметрів ефективності мереж і впливу цих змін на якість надання послуг. Задача управління перевантаженнями полягає в аналізі чутливості системи і вирішується шляхом адаптивного прогнозуючого управління комп'ютерною мережею.

Є три основні причини, які обумовлюють доцільність системних досліджень чутливості складних систем.

1. Чутливість дає кількісну оцінку того, як зміни системних параметрів впливають на відповідь (поведінка) системи. Розділяючи системний параметр на критичний і некритичні параметри визначається найбільш ефективний метод для аналізу поведінки і управління надійністю системи.

2. Забезпечення порівняння якості різних систем, що мають однакові номінальні вихідні параметри. Знання чутливості системи може бути використане як основа для порівняння інших розробок.

3. Кількісні оцінки чутливості визначають реакцію градієнта в задачах оптимізації складних систем. Мета оптимізації – мінімізація невідповідності між фактичною і бажаною поведінкою системи.

2. Визначення чутливості системи

Чутливість – це математичний показник, який забезпечує додаткове розуміння поведінки системи, і може бути використаний як основа для складання висновку про вхідний/вихідний взаємозв'язок в системах. При розробці механізмів управління мережею і в процесі її експлуатації необхідна точна і об'єктивна інформація про те, як зміни одного або більшої кількості параметрів мережі чи трафіку впливають на продуктивність системи і якість послуг, що надаються користувачеві.

Будь-яка зміна системної функції або іншої системної характеристики, викликана зміною в одному або більше системних параметрах, називається чутливістю системи.

Системний параметр називається критичним, якщо системна чутливість відносно цього параметра дуже велика, тобто, спричиняє за собою неможливість подальшого функціонування мережі без втрати якості надання послуг. Невелика зміна такого параметра призводить до істотного погіршення експлуатаційних характеристик або неможливості подальшого функціонування системи.

Аналіз чутливості може бути використаний як основа для створення висновку про вхідний/вихідний взаємозв'язок в системах будь-якої складності. Крім того, модель простору станів досліджуваного процесу і отримувані з неї коефіцієнти чутливості можуть бути основою для розробки методів градієнтної оптимізації. Коефіцієнти чутливості також ідентифікують системні вхідні змінні, які є найбільш важливими для поліпшення продуктивності системи.

Розглянемо системну функцію $J(\tilde{x})$, яка є функцією параметра вектора \tilde{x} , компонентами якого є змінні x_i , $i=1, \dots, N$

Відхилення δJ функції $J(\tilde{x})$ відносно номінального параметра вектора \bar{x}_0 може бути визначено з використанням розкладання в ряд Тейлора таким чином:

$$\delta J = J(\bar{x}) - J(\bar{x}_0) = \sum_{i=1}^N \frac{\partial J}{\partial x_i} \delta x_i + \frac{1}{2} \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^N \frac{\partial^2 J}{\partial x_i \partial x_j} \delta x_i \delta x_j + \dots, \quad (1)$$

де δx_i – зростаючі відхилення (інкременти) змінної x_i , $i=1, \dots, N$.

Матричний вектор у виразі (1) представлений як

$$\delta J = \bar{g}^T \delta \bar{x} + \frac{1}{2} \delta \bar{x}^T \bar{H} \delta \bar{x}, \quad (2)$$

де \bar{g} – вектор градієнта;

\bar{H} – матриця Гессе (гессіана).

Більшість методів і способів визначення чутливості системи засновані на аналізі нескінченно малих змін компонентів x_i вектора \tilde{x} , тобто зі змінами інкремента, прагнучими до нуля.

Розглянемо визначення чутливості системи щодо єдиного параметра x_i [11]. Широко використовуване визначення для системної чутливості – похідна першого порядку:

$$S_d(J, x) = \lim_{\delta x \rightarrow 0} \frac{\delta J}{\delta x} = \frac{\partial J}{\partial x}. \quad (3)$$

Це найпростіше визначення чутливості, але воно не є незалежним від масштабу досліджуваного об'єкту.

Відносна (або нормалізована) чутливість системи визначається відносно нескінченно малої зміни системного параметра x і отриманої внаслідок цього результуючої зміни системної функції $J(x)$.

Одне з визначень нормалізованої чутливості системи, яке формує основу для порівняння різних розробок, може бути представлено як

$$S_n(J, x) = \lim_{\delta x \rightarrow 0} \frac{\delta J / J}{\delta x / x} = \frac{x \partial J}{J \partial x} = \frac{\partial(\ln J)}{\partial(\ln x)} = \frac{x}{J} S_d(J, x). \quad (4)$$

Однак, якщо або x або J приймає нульове значення, визначення (4) більше не має смислу. В цьому випадку використовуються два інших визначення нормалізованої чутливості, які представляються таким чином:

$$S_{n1}(J, x) = x \frac{\partial J}{\partial x} = \frac{\partial J}{\partial(\ln x)} = x S_d(K, x); \quad (5)$$

$$S_{n2}(J, x) = \frac{1}{J} \frac{\partial J}{\partial x} = \frac{\partial(\ln J)}{\partial x} = \frac{1}{J} S_d(J, x). \quad (6)$$

Визначення (5) нормалізованої чутливості системи $S_{n1}(J, x)$ використовується головним чином тоді, коли системна функція приймає нульове значення ($J=0$).

Якщо аргумент системної функції має нульове значення ($x=0$), для визначення нормалізованої чутливості системи $S_{n2}(J, x)$ використовується вираз (6).

Якщо ж обидва параметри мають нульові значення ($J=0, x=0$), переважним є визначення, яке представлено виразом (3).

3. Багатопараметрична чутливість

Розглянуті вище визначення чутливості системи надають інформацію щодо зміни системної функції, яка викликана змінами одного єдиного параметра. У реальних складних системах, в тому числі в системах передачі інформації, функція J зазвичай залежить від декількох параметрів:

$$J = J(\bar{x}) = J(x_1, x_2, \dots, x_n). \quad (7)$$

Тому практичний інтерес представляє аналіз поведінки (зміни) системної функції J , коли деякі або всі параметри змінюються одночасно. Зміни системної функції J , які викликані нескінченно малими змінами всіх параметрів x_i , математично виражається повним диференціалом

$$\delta J = \sum_{i=1}^N \frac{\partial J}{\partial x_i} \delta x_i. \quad (8)$$

Поділивши ліву частину виразу (8) і кожен доданок правої частини цього виразу на величину J , а також перемноживши чисельник і знаменник всіх доданків на x_i , отримуємо кінцевий вираз для визначення нормалізованої багатопараметричної чутливості системи:

$$\frac{\delta J}{J} = \sum_{i=1}^N \left(\frac{\partial J}{\partial x_i} \cdot \frac{x_i}{J} \right) \cdot \frac{\delta x_i}{x_i} = \sum_{i=1}^N S_n(J, x_i) \frac{\delta x_i}{x_i} = \sum_{i=1}^N \frac{\partial(\ln J)}{\partial(\ln x_i)} \delta(\ln x_i). \quad (9)$$

Нехай набір інкрементів відносних параметрів $\delta(\ln x_i)$ представлений вектором

$$\delta \bar{y} = [\delta(\ln x_1) \delta(\ln x_2) \dots \delta(\ln x_N)]^T,$$

а набір градієнтів $\delta(\ln J) / \delta(\ln x_i)$ – вектором

$$\nabla \bar{G} = \left[\frac{\partial(\ln J)}{\partial(\ln x_1)} \frac{\partial(\ln J)}{\partial(\ln x_2)} \dots \frac{\partial(\ln J)}{\partial(\ln x_N)} \right]^T.$$

Тоді вираз для визначення нормалізованої багатопараметричної чутливості системи $\delta J / J$ може бути представлений як скалярний добуток

$$\frac{\delta J}{J} = \nabla \bar{G}^T \delta \bar{y}. \quad (10)$$

Відносна зміна системної функції $J(x)$ залежить від вектора градієнта G . Із врахуванням виразів (9) і (10) ми маємо можливість визначити багатопараметричну чутливість системи у вигляді вектора

$$S_m = \nabla G. \quad (11)$$

Таким чином, отриманий вираз (11) представляє собою розширене представлення нормалізованої чутливості (4) однопараметричної системи для випадку багатопараметричної системи визначення чутливості.

Методи для обчислення чутливості основані на використанні моделей простору станів і діляться на два класи [12, 13]:

– прямі методи, які полягають в обчисленні дуг моделей простору станів на основі похідних першого або більш високих порядків;

– методи збурювання, які полягають у введенні незначних завад (збурень) на кожному вході моделі простору станів, одного в кожен момент часу, як в одному так і в іншому напрямках. Результуючі відхилення на кожному виході в кожному напрямку і для кожного вхідного збурення обчислюються і усереднюються.

4. Висновки

Визначена категорія чутливості складних систем як математичного показника, який забезпечує додатковий опис і розуміння поведінки системи.

Виділено три основні причини системних досліджень чутливості.

1. Чутливість дає кількісну оцінку того, як зміни системних критичних і некритичних параметрів впливають на відповідь (поведінку) системи.

2. Забезпечення порівняння якості різних систем, що мають однакові номінальні вихідні параметри.

3. Кількісні оцінки чутливості визначають реакцію градієнта в задачах оптимізації складних систем.

Представлені аналітичні вирази для визначення однопараметричної і багатопараметричної чутливості складних систем. Запропоновано векторне представлення аналітичних виразів для багатопараметричної чутливості. Показані особливості їх застосування в залежності від значень системної функції і її аргументів.

Показана доцільність використання математичного апарату аналізу чутливості складних систем в задачах управління перевантаженнями в комп'ютерних телекомунікаційних мережах шляхом адаптивного прогнозованого управління мережею.

На додаток до вищесказаного слід зауважити, що показники чутливості також можуть бути використані при оптимізації і розробці складних систем можуть також бути використані з метою характеризувати статистичний розподіл системних параметрів.

Як напрямки для подальших досліджень можна назвати аналіз чутливості продуктивності мережі з точки зору організації черг, моделювання систем визначення функції чутливості з метою системного управління, розробка статистичної системи аналізу поведінки складної системи в цілому і телекомунікаційної комп'ютерної мережі зокрема з використанням математичного апарату визначення чутливості.

Література

1. Олифер В.Г., Олифер Н.А. Компьютерные сети: принципы, технологии, протоколы. – 4-е изд. – Санкт-Петербург : Питер, 2010. – 945 с.
2. Столлингс В. Современные компьютерные сети / В. Столлингс. – 2-е изд. – Санкт-Петербург : : Питер, 2003. – 783 с.
3. Pouzin L. Flow Control in Data Networks – Methods and Tools / L. Pouzin // Proc. Int-l Conf. Comp. Commun., Toronto. – Aug. 1976. – PP. 467-474.
4. Tanenbaum A.S. Computer Networks ; 5th Ed. / Andrew S. Tanenbaum, David J. Wetherall. – Cloth : Prentice Hall, 2011. – 960 p.
5. Stallings W. Foundations of Modern Networking: SDN, NFV, QoE, IoT, and Cloud / W. Stallings. – New Jersey : Pearson Education, Inc., Old Tappan, 2016. – 538 p.
6. Keshav S. Congestion Control in Computer Networks, Ph.D. Thesis – University of California. 1991.
7. Климаш М.М. Тензорне подання алгоритмів маршрутизації / М.М. Климаш, Б.М. Стрихалюк, М.В. Кайдан // Зв'язок. – 2010. – №1. – С.33-35.
8. Jain R. Congestion Control and Traffic Management in ATM Networks: Recent Advances and a Survey // Computer Networks and ISDN Systems. – Nov. 1996.
9. Chen T. M. The Available Bit Rate Service for Data in ATM Networks / T.M. Chen, S. S. Liu, V. K. Samalam // IEEE Commun. Mang. – May 1996. – PP. 56-71.
10. Мельников Д.А. Информационные процессы в компьютерных сетях. Протоколы, стандарты, интерфейсы, модели / Д.Ф. Мельников. – Москва : КУДИЦ-ОБРАЗ, 1999.
11. Aweya J. Neural Sensitivity Methods for the Optimization of Queuing Systems / J. Aweya, Q.J. Zhang, D. Y. Montuno // World Multicorrfererice on Systemics, Cybernetics and Informatics (SC1998), July 12 - 16, 1998, Orlando. Florida. – PP. 638-645.
12. Пасечников И.И. Методология анализа и синтеза предельно нагруженных информационных сетей / И.И. Пасечников. – Москва: Машиностроение-1, 2004. – 216 с.
13. 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.

Автор статті

Торошанко Ярослав Іванович – кандидат технічних наук, професор кафедри комп'ютерної інженерії, Державний університет телекомунікацій, м. Київ. Тел. +380 (50) 555 51 14. E-mail: toroshanko@ukr.net.

Author of the article

Toroshanko Yaroslav Ivanovych – candidate of sciences (technical), professor of computer sciences department, State University of Telecommunications, Kyiv. Tel. +380 (50) 555 51 14. E-mail: toroshanko@ukr.net.

Дата надходження
в редакцію: 26.08.2016 р.

Рецензент:
доктор технічних наук, професор Ю.Г. Савченко
Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут ім. Ігора Сікорського»