

УДК 004.7:519.87(043.3):621.391

Я.І. ТОРОШАНКО

Державний університет телекомунікацій, Київ

АНАЛІЗ ЧУТЛИВОСТІ СИСТЕМ МАСОВОГО ОБСЛУГОВУВАННЯ НА ОСНОВІ МОДЕЛІ АДАПТАЦІЇ І РЕГУЛЮВАННЯ ЗОВНІШНЬОГО ТРАФІКА

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. Досліджена задача управління чергою на основі системи непрямого управління накопиченням і повернення помилки в систему управління. Запропоновано спосіб визначення коефіцієнту чутливості на основі пертурбацій в позитивному і негативному напрямках.

Ключові слова: телекомунікаційна мережа, коефіцієнт чутливості, система масового обслуговування, трафік, пертурбація, управління чергою

YA. I. TOROSHANKO

State University of Telecommunications, Kyiv, Ukraine

SENSITIVITY ANALYSIS OF SYSTEMS OF MASS SERVICE ON THE BASE OF MODEL OF ADAPTATION AND REGULATION OF FOREIGN TRAFFIC

The purpose of the article is the methods of analysis of parameter sensitiveness of telecommunication network as a complex queuing system. In basis of the offered methods the control queuing system modelling is used. The model are fixed for adaptation of the managed access of external traffic in the system for the receipt of the expected limit of the productivity. The task of management a turn is investigational on the basis of the system of non direct management and returning of error in the system of management an accumulation. The method of determination the coefficient of sensitiveness is offered on the basis of perturbations in positive and negative directions. Possibility of the using the sensitiveness parameter with different optimization algorithms is shown, which consists in successive selection of entry parameters to achievement of set value of initial parameters of the system. The methods of queuing control using sensitiveness parameter gives the wide possibilities for optimization of the telecommunication systems as complex systems. The sensitiveness parameter of s can be used for the receipt of statistical distributing descriptions of the networks system parameters.

Keywords: telecommunication network, sensitiveness coefficient, queuing system, traffic, perturbation, queuing control.

Вступ. Постановка задачі. Під час розв'язання задач контролю функціонування телекомунікаційної мережі і прогнозування її стану важливе значення мають способи визначення і оптимізації ключових показників ефективності функціонування мережі, як складної системи. Ці показники та критерії їх оцінювання є вкрай неоднозначними і суперечливими, що можна об'яснити динамічними змінами поточного стану мережі, її завантаженістю та іншими зовнішніми впливами [1, 2].

Вирішенню задач прогнозування параметрів та стану мережі присвячено багато теоретичних робіт та практичних досліджень [3–5], однак більшість із запропонованих рішень пов'язані з ростом обчислювальної складності при вирішенні цих задач. В роботах [6, 7] 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 [8, 9] досліджені 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.

Підсумовуючи можна констатувати, що завжди існує апріорна невизначеність стану телекомунікаційної мережі, що потребує розробки додаткових показників і критеріїв оцінювання мереж, як складних систем.

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 [10–12] 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. Обґрунтована доцільність системних досліджень чутливості складних систем шляхом адаптивного передбачуваного управління мережею. Показано, що кількісні оцінки чутливості визначають реакцію градієнта в задачах оптимізації складних систем. Категорія чутливості визначає, як зміни одного або більшої кількості параметрів мережі чи трафіка впливають на продуктивність системи і якість послуг, що надаються користувачеві.

Визначенням чутливості може бути наступне: «Будь-яка зміна системної функції або іншої системної характеристики, викликана зміною в одному або більше системних параметрах, називається чутливістю системи» [12].

Метою статті є розробка методів аналізу чутливості параметрів мережі як складної системи масового обслуговування. В основу запропонованих методів покладені моделі управління чергою для адаптації регульованого доступу зовнішнього трафіка в систему для отримання очікуваної межі продуктивності.

Чутливість параметрів мереж як систем масового обслуговування. Причиною появи черг в

телекомунікаційних мережах і, як наслідок, перевантажень, являються сплески вхідного трафіка, несправності устаткування, низький рівень якості обслуговування тощо. Тому основною проблемою управління систем масового обслуговування є аналіз її основних процесів і потоків з метою виявлення параметрів, які погіршують ефективність функціонування мережі.

На практиці теорія систем масового обслуговування і черг має найбільшу корисність при вирішенні таких завдань, як виявлення невідповідностей характеристик обладнання заданим вимогам, визначення шляхів покращання функціонування системи, виявлення деструктивних впливів на функціонування мережі та визначення наближених значень регулюючих параметрів системи, які імовірно повинні підвищити рівень її функціонування. Одним із таких параметрів, що надає кількісну оцінку негативних впливів на якість функціонування мережі є чутливість [1, 5, 10, 12].

Розглянемо параметр чутливості, його визначення та особливості використання в ТКМ як системах масового обслуговування. Функція зміни стану системи організації черги в координаті часу t може бути записана як $S(t, x)$, де x – параметр, який впливає на поведінку системи організації черги.

Якщо функцію зміни стану $S(t, x)$ розглядати як продуктивність мережі, то позначення $Y(x, \omega)$ будемо використовувати для представлення продуктивності на конкретній вибірці ω , коли мережа знаходиться під спостереженням. В загальному, для будь-якого заданого значення x функція $S(t, x)$, – стохастичний процес, $Y(x, \omega)$ – довільна змінна.

Для того, щоб підкреслити те, що продуктивність є залежною від вибірки ω , використовуємо функцію $Y(x, \omega)$, яку назвемо продуктивністю на вибірці або просто функцією вибірки.

Як приклад, можна розглянути організацію черги на одному сервері системи. Нехай x – швидкість роботи і $Y(x, \omega)$ – функція використання сервера на даній вибірці. В цьому випадку, величина ω характеризує часовий інтервал між двома запитами на обробку і час обробки даної вибірки.

Для практичних цілей функція $Y(x, \omega)$ використовується для оцінки продуктивності системи, але це відноситься лише до однієї вибірки; тоді як цілком можливо, що продуктивність, отримана в процесі спостереження на іншій вибірці, буде радикально відрізнятися. Таким чином, середня продуктивність, тобто очікувана серед всіх можливих, може бути представлена як

$$J(x) = E[Y(x, \omega)] \quad (1)$$

Функція продуктивності $Y(x, \omega)$ на одній вибірці може бути використана при оцінюванні середньої (дійсної) продуктивності $J(x)$. Якщо є n окремих значень продуктивності на вибірках $\omega_1, \omega_2, \dots, \omega_n$, які були під спостереженням, тоді приблизне (усереднене) значення $J(x)$ буде представлено як

$$\hat{J}(x) = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n Y(x, \omega_i). \quad (2)$$

Якщо спостережувані вибірки є незалежними і, як наслідок, отримані значення продуктивності представляють собою незалежну ідентифікаційну послідовність $\{Y(x, \omega_1), Y(x, \omega_2), \dots, Y(x, \omega_n)\}$, тоді згідно з законом закону великих чисел з урахуванням (1) і (2) має місце наступний вираз для оцінки продуктивності:

$$J(x) = \lim_{x \rightarrow \infty} \left[\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n Y(x, \omega_i) \right]. \quad (3)$$

У більшості практичних застосувань, використовується тільки одна вибірка спостереження ω , по якій оцінюється величина продуктивності $J(x)$, а саме:

$$\hat{J}(x) = Y(x, \omega). \quad (4)$$

Типова проблема, яку необхідно вирішувати при розробці, управлінні і експлуатації систем масового обслуговування – це визначення значення функції продуктивності від деякого параметра x .

При вимірюванні і оцінюванні величини продуктивності $J(x)$ від деякого заданого параметра x , викликає інтерес ступінь чутливості параметру J відносно x , тобто, похідна $\frac{\partial J}{\partial x}$ при значенні $x = x_0$. Така похідна відома як чутливість J щодо параметра x в точці $x = x_0$. Це надає принаймні якусь локальну інформацію щодо впливу x на продуктивність системи. Наприклад, знання знаку цієї похідної в даній точці відразу ж дає відповідь, в якому напрямі необхідно змінювати параметр x . Також, якщо величина похідної $\frac{\partial J}{\partial x}$ невелика, можна зробити висновок, що функція J слабо чутлива до змін в x . Таким чином, варто приділити увагу іншому параметру (якщо це можливо) для поліпшення продуктивності, не намагаючись отримати хоча б мінімальні поліпшення за рахунок налаштування x .

Є багато галузей знань, де інформація про чутливість використовується з метою аналізу і управління. Коротке обговорення деяких з цих областей приведене нижче.

1. Як було зазначено вище, по знаку похідної $\frac{\partial J}{\partial x}$ в деякій точці $x = x_0$ можна визначити напрямок коригування параметру x . При малих значеннях цієї похідної робиться висновок про незначний вплив параметра x на продуктивність мережі, а значить слід зосередитись на інших параметрах для покращання якості функціонування мережі. Фактично у разі багатьох параметрів x_1, x_2, \dots, x_m комплексний параметр чутливості $\frac{\partial J}{\partial x_1}, \frac{\partial J}{\partial x_2}, \dots, \frac{\partial J}{\partial x_m}$ може бути використаний щоб визначити найбільш і найменш критичні параметри і дати орієнтир для розробника або диспетчера відносно вибору шляхів для поліпшення якості функціонування системи.

2. Часто буває, що аналіз чутливості дає не просто числову величину похідної для тієї чи іншої вибірки, але і дає інформацію про походження і причини залежності продуктивності від параметра x . Найпростіший такий випадок виникає, коли похідна $\frac{\partial J}{\partial x}$ може бути завжди позитивною (або завжди негативною) для будь-якої вибірки. Загалом, форма $\frac{\partial J}{\partial x}$ може показати цікаві структурні властивості системи, напр., монотонність, опуклість.

3. Параметр чутливості може використовуватись сумісно з різними алгоритмами оптимізації, робота яких полягає в послідовному підборі (підгонці) параметру x до тих пір, поки не буде досягнута точка, де величина $J(x)$ має найкраще значення. На практиці, ставиться задача виявлення такого значення x , при якому результуюча продуктивність $J(x)$ буде задовільна. Якщо жодні інші обмеження на x не накладаються, передбачається, що в цій точці $\frac{\partial J}{\partial x} = 0$. Типовим алгоритмом є правило спадаючого градієнта, яке описується в дискретному часі наступним чином: $x(n+1) = x(n) - \eta(n) \left(\frac{\partial J}{\partial x} \right)_{x=x(n)}$, $n = 1, 2, \dots$

де параметр x послідовно скоригований від початкової величини x_0 до тих пір, поки $\frac{\partial J}{\partial x} = 0$ для деякого n . Величина коригування пропорційна величині похідної, отриманої в точці $x = x(n)$ з правильно вибраними коефіцієнтами $\eta(n)$, $n = 1, 2, \dots$ (цими коефіцієнтами можуть бути *розміри кроку, коефіцієнт навчання, коефіцієнти масштабування* тощо).

4. Для аналізу і управління системою можуть бути використані не тільки похідні першого порядку, але і похідні більш високих порядків $\frac{\partial J^{(2)}}{\partial x^2}, \frac{\partial J^{(3)}}{\partial x^3}, \dots$, що надає більш широкі можливості оптимізації складних систем. Зауважимо також, що чутливість може також використана для отримання статистичних характеристик розподілу системних параметрів.

Аналіз моделі управління чергою

Контроль черги в системі масового обслуговування телекомунікаційної мережі здійснюється з метою регулювання доступу зовнішнього трафіка в систему для забезпечення очікуваної продуктивності. Відсутність управління вхідним трафіком може привести до значних порушень даного обмеження продуктивності, в тому числі до перевантажень, які можуть заблокувати передачу даних в мережі в цілому або на окремих її фрагментах.

Нехай функція $I(t)$ визначає інтенсивність зовнішнього трафіка, який надходить в мережу; величина $R(t)$ – розрахункова очікувана межа продуктивності; $Y(t)$ – продуктивність, яку показує мережа в даний момент часу t . Параметри $R(t)$ і $Y(t)$ можуть бути визначені, як затримка черги, довжина черги, або будь-який інший вимір продуктивності, який задається розробником системи контролю.

Задача системи контролю – забезпечити адаптивне управління, яке максимізує вхідний трафік в заданих рамках. Схема управління і задача контролю вхідного трафіка представлена на рис. 1. Система контролю розміщується на вході в систему черги.

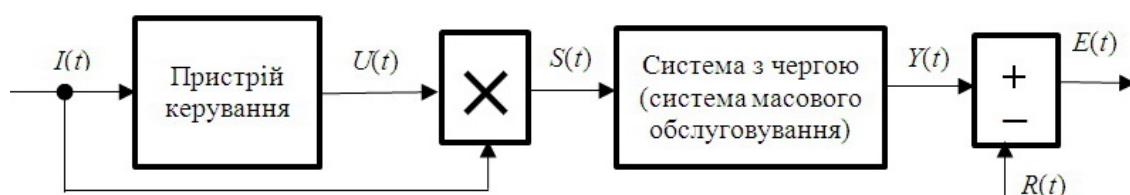


Рис. 1. Схема управління і контролю вхідного трафіка

Величина $S(t)$ характеризує реальний рівень трафіка, який надходить в мережу. При цьому рівень вхідного трафіка заданий в межах $0 \leq S(t) \leq I(t)$. Функція $U(t)$ характеризує механізм управління накопиченням змінної управління і визначає порцію вхідного трафіка $I(t)$, яка буде надіслана в мережу, тобто:

$$S(t) = U(t)I(t). \quad (5)$$

Формалізовано задача системи контролю в рамках вищевказаних обмежень може бути представлена наступним чином:

$$\max_{U(t)}; \quad Y(t) \leq R(t) \quad 0 \leq U(t) \leq 1.$$

Для опису адаптивної схеми управління накопиченням у просторі станів використаємо так званий непрямий метод управління. Цей метод управління накопиченням включає дві моделі одна – формуюча еталонна модель динаміки системи черг, друга – система управління в просторі станів [4, 10]. Розглянемо альтернативний підхід, при якому спрощується формулювання управління сигналами.

Пристрій управління на рис. 1 призначений для рішення задачі управління $S(t)$ λ при взаємодії із системою масового обслуговування (системою черг) в реальному часі. Функція управління залежить від попередніх значень параметрів продуктивності вхідного трафіка, тому з урахуванням (3) і спрощення (4) функція управління набуває форми:

$$S(t) = G[I(t), S(t-1), \dots, S(t-m), Y(t), Y(t-1), \dots, Y(t-l)], \quad (6)$$

де для функцій $S(t-i)$ і $Y(t-l)$ $i = 1, 2, \dots, m$ та $j = 0, 1, 2, \dots, l$ – часові послідовності контрольованого трафіка і значень продуктивності, відповідно. Простір функції G , залежить від складності даної мережі і від необхідної точності управління.

Підстановкою (6) в (5) отримуємо:

$$U(t) = \frac{S(t)}{I(t)} = H[I(t), S(t-1), S(t-2), \dots, S(t-m), Y(t), Y(t-1), \dots, Y(t-l)] \quad (7)$$

У виразі (7) функція H описує динаміку системи черг, яка є невідомою.

Модель використовується для вивчення залежності між керованою змінною $U(t)$ і динамікою системи. Формуючий фільтр для системи управління має $m+l+2$ входів, на які поступають значення відповідних сигналів, і один вихід, і може бути позначений як

$$U(t) = H[I(t), S(t-1), S(t-2), \dots, S(t-m), Y(t), Y(t-1), \dots, Y(t-l), W]$$

де W представляє змінювану величину формуючого фільтру.

Як видно з рис. 1, помилка

$$E_c(t) = R(t) - Y(t) \quad (8)$$

не проходить через систему черги, тому немає прямого алгоритму навчання, доступного для проводки цієї помилки назад в систему управління. Тобто алгоритм компенсації помилки не може бути використаний в системі управління безпосередньо зі стану системи.

Для вирішення цієї задачі можна запропонувати декілька методів. Один з них заснований на архітектурі прямого управління системою черг. Для порівняльного аналізу ми дамо спочатку огляд методу збурення, в основу якого покладена архітектура непрямого управління накопиченням і повернення помилки в систему управління.

Метод повернення визначеної в (8) помилки $E_c(t)$ в систему управління безпосередньо не може бути використаний через те, що для конкретного запиту відома тільки помилка між доступним виходом системи Y і бажаним виходом R . Отже, помилка $R(t) - Y(t)$ має бути зменшена до входу в систему черги. Зазвичай правило компенсації помилки визначається як

$$\Delta W = -\eta \frac{\partial E}{\partial W}.$$

Тоді формула для формуючого фільтра із врахуванням виходу системи управління $U(t)$ в просторі станів наступним чином:

$$\Delta W = -\eta \frac{\partial E}{\partial S(t)} \frac{\partial S(t)}{\partial U(t)} \frac{\partial U(t)}{\partial W} = -\eta \frac{\partial E}{\partial S(t)} I(t) \frac{\partial U(t)}{\partial W}.$$

Якщо система управління чергою лінійна і описується як

$$Y = Y(S), \quad (9)$$

то помилка виходу $E(t)$ може бути визначена як

$$E(t) = \frac{1}{2} [R(t) - E(t)]^2.$$

Тоді сигнал помилки $E(t)$ переноситься на вхід системи, а величина $\frac{\partial E(t)}{\partial S(t)}$ може бути підрахована

таким чином:

$$-\frac{\partial E(t)}{\partial S(t)} = [R(t) - Y(t)] \frac{\partial Y(t)}{\partial S(t)}. \quad (10)$$

Як видно із (10), помилка виходу системи $R(t) - Y(t)$, яка переноситься на вхід в систему, відповідає градієнту функції (або коефіцієнту чутливості) $\frac{\partial Y}{\partial S}$. Це описує продуктивність лінеаризованої системи (9) в робочій точці системи.

Якщо рівняння системи $Y = Y(S)$ відоме, то величина $\frac{\partial Y}{\partial S}$ в робочій точці системи може бути легко представлено в аналітичній формі. Якщо ж рівняння системи невідоме, $\frac{\partial Y}{\partial S}$ може бути визначено варіюванням вхідної дії на ΔS в робочій точці системи і подальшого підрахунку зміни результатів. Результуючі збурення вихідного сигналу в кожному напрямі для кожного вхідного збурення вимірюються і усереднюються.

Коефіцієнт чутливості потім береться за середнє $\frac{\partial Y}{\partial S}$, де середні значення беруться з пертурбацій в позитивному і негативному напрямках. Цей підхід називається методом пертурбації і дозволяє вимірювати і симулювати приблизні значення градієнта $\frac{\partial Y}{\partial S}$. Метод пертурбації вимагає приблизні значення тільки для $\frac{\partial Y}{\partial S}$, оскільки це відношення включає скінченні різниці ΔY і ΔS замість нескінченних диференціалів. Зауважимо, що результати таких вимірювань дійсні тільки для певного місця в проблемному просторі, представленому значеннями входу і виходу до їх пертурбації.

Висновки. 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.

Показані можливості та особливості використання показника чутливості для аналізу і оптимізації складних систем різного призначення.

Досліджена задача управління чергою на основі системи непрямого управління накопиченням і повернення помилки в систему управління. Запропоновано спосіб та розроблені аналітичні вирази для визначення коефіцієнту чутливості на основі пертурбацій в позитивному і негативному напрямках змін вихідної функції досліджуваної системи.

Література

1. Reliability, Survivability and Quality of Large Scale Telecommunication Systems: Case Study: Olympic Games / Peter Stavroulakis (Editor) 2003 John Wiley & Sons, Ltd. – 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. Уилсон Э. Мониторинг и анализ сетей. Методы выявления неисправностей / Э. Уилсон. – Москва : Лори, 2002. – 363 с.
4. Shooman M. L. Reliability of Computer Systems and Networks: Fault Tolerance, Analysis, and Design / M. L. Shooman. – John Wiley & Sons, Inc, 2002. – 548 p.
5. 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.
6. 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.
7. 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.
8. Handbook of Optimization in Telecommunications / Editors: M.G.C. Resende, P.M. Pardalos. – Springer Science & Business Media, 2006. – 1133 p.
9. Mızrak A. T. Detecting Malicious Routers // Ph. D. Dissertation, University of California, San Diego, CA, 2007. – 155 pp.
10. 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.
11. 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.
12. 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.