

УДК 004.7:519.87(043.3)

Торошанко Я. І., канд. техн. наук; Танцюра Л. І., аспірант;
Харлай Л. О., магістр; Хмара К. В., аспірант

МОДЕЛЮВАННЯ СИСТЕМИ УПРАВЛІННЯ ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЙНОЮ МЕРЕЖЕЮ ІЗ ЗАТРИМКАМИ СИГНАЛЬНОЇ І УПРАВЛЯЮЧОЇ ІНФОРМАЦІЇ

Toroshanko Ya. I., Tantsyura L. I., Kharlay L. A., Khmara K. V. Modelling managing system of telecommunication network with delays of signalling and control information. The article deals with the development of algorithms and construction of mathematical model to assess the magnitude and impact of the delay signal and managing information on the effectiveness of search and localization of sites of failures, overloads and emergency operation of telecommunications networks.

The analysis of the signal delay and managing information and their impact on the efficiency of telecommunication networks management is made. There is shown that mathematical modelling of control systems in telecommunications networks is most appropriate difference-differential equations of detainees argument. The stability conditions of the solution equation are determined. There is shown that to maintain stability control system with increasing delay control signals it is necessary to reduce the absolute coefficient value of the feedback control loop. The problem of sampling equation to enable computer modelling systems is examined.

Keywords: telecommunication, management system, search and localization of failures, difference-differential equation, detained argument, sampling equation.

Торошанко Я. І., Танцюра Л. І., Харлай Л. О., Хмара К. В. Моделювання системи управління телекомунікаційною мережею із затримками сигнальної і управляючої інформації. В статті розглядаються питання розробки алгоритмів і побудови математичної моделі для оцінювання величини і впливу затримок сигнальної і управляючої інформації на ефективність пошуку і локалізації місць відмов, перевантажень і аварійних режимів в мережах телекомунікації. Показано, що для математичного моделювання систем управління телекомунікаційними мережами найбільш прийнятними є різницево-диференціальні рівняння із затриманим аргументом. Розглянуті умови стабільності рішення і задачі дискретизації такого рівняння для забезпечення можливості комп'ютерного моделювання.

Ключові слова: телекомунікації, система управління, пошук і локалізація відмов, різницево-диференціальне рівняння, затриманий аргумент, дискретизація рівняння

Торошанко Я. И., Танцюра Л. И., Харлай Л. А., Хмара К. В. Моделирование системы управления телекоммуникационной сетью с задержками сигнальной и управляющей информации. В статье рассматриваются вопросы разработки алгоритмов и построения математической модели для оценивания величины и влияния задержек сигнальной и управляющей информации на эффективность поиска и локализации мест отказов, перегрузок и аварийных режимов в сетях телекоммуникаций. Показано, что для математического моделирования систем управления телекоммуникационными сетями наиболее приемлемыми являются разностно-дифференциальные уравнения с задержанным аргументом. Рассмотрены условия стабильности решения и задачи дискретизации такого уравнения для обеспечения возможности компьютерного моделирования.

Ключевые слова: телекоммуникации, система управления, поиск и локализация отказов, разностно-дифференциальное уравнение, задержан аргумент, дискретизация уравнения

1. Вступ. Постановка задачі

Ефективність функціонування системи управління складеною телекомунікаційною мережею з пакетною комутацією в значній мірі визначається затримками сигнальної і управляючої інформації, що пов'язано з великою кількістю різноманітних мережних комутаційних вузлів з різними алгоритмами маршрутизації та обробки інформації [1-4].

В даний час спостерігається великий інтерес до методів аналізу і оптимізації телекомунікаційних, комп'ютерних і об'єднаних мереж, інтелектуалізації, конвергенції, створення так званих "мереж нових поколінь", до впровадження мережних систем управління, які "приспосовуються", "самоналагоджуються", "навчаються" і т.п.

Однак, при цьому відчуваються серйозні прогалини, пов'язані із систематизацією в цій області знань, з освітленням питання, яке місце математичний апарат теорії мереж займає в задачах побудови мереж, і навіть з розробкою обґрунтованої термінології.

Така швидка калейдоскопічна зміна технологій, технічних рішень і самих принципів побудови мереж супроводжується закритістю характеристик мережного обладнання і, як результат – украй низькою ефективністю використання мережних ресурсів [5-9]. Сказане вище призводить до певних ускладнень в оцінюванні техніко-економічних показників мережі, в аналізі впливу тих чи інших параметрів устаткування мережі на ефективність її функціонування.

Одночасно теоретична наука не встигає за технологічними розробками і спробами швидкого впровадження нових рішень де-факто. Як наслідок, ускладнюється задача аналітичного визначення часових характеристик мережі, які є визначальними для досягнення максимальної швидкодії і мінімального часу доставки інформації користувачу.

Одним із ключових визначальних характеристик функціонування телекомунікаційної мережі є затримки сигнальної і управляючої інформації, що виникають при доставці даних каналами зв'язку та при обробці у проміжних комутаційних вузлах [1, 5, 10, 11].

Метою висвітлених в статті досліджень є розробка алгоритмів і побудова математичної моделі для оцінювання величини і впливу затримок сигнальної і управляючої інформації щодо ефективності пошуку і визначення місць відмов, перевантажень і аварійних режимів в мережах телекомунікації.

2. Аналіз затримок сигнальної і управляючої інформації

Для забезпечення стабільного функціонування телекомунікаційної мережі, а також окремих її сегментів, маршрутів і вузлів необхідно постійне відстеження параметрів і стану системи пошуку відмов, збір і аналіз статистичних даних, отримуваних даною системою. Розглянемо вплив затримок сигнальної і управляючої інформації щодо ефективності пошуку і визначення місць відмов, перевантажень і аварійних режимів в мережах телекомунікації. При розгляді і розробці алгоритмів відповідних систем управління слід враховувати ту особливість, що затримки передачі сигнальної і управляючої інформації мають випадковий характер і можуть змінюватися в широких межах. Затримка аргументу навіть для простішого диференціального рівняння першого порядку з постійними коефіцієнтами приводить до появи післядії (це формально відповідає довільній варіації порядку рівняння). Такі диференціальні рівняння називають рівняннями із затриманим аргументом [12, 13]. Крім того, якщо початкове рівняння має стійке рішення, стабільність рішення того ж рівняння із затриманим (так званім відхиляючимся) аргументом не гарантована.

Для рішення цієї задачі найбільш ефективним є метод наближення до різницево-диференціальних рівнянь [13]. Для цифрових систем і телекомунікаційних мереж з пакетною комутацією даний метод є досить аргументованим і природним. У роботі [10] показано, що при управлінні потоками та процесами в інформаційно-комунікаційних мережах мають місце затримки отримання інформації про стан та параметри мережі, які носять випадковий характер та можуть змінюватися у широких межах. В свою чергу це викликає затримки інформації, що використовується для зміни параметрів мережних вузлів, маршрутів та автономних сегментів.

У даній роботі розглянуті завдання математичного опису систем із затримками інформації та наведені результати комп'ютерного моделювання.

3. Дискретизація і стабільність рішення диференціального рівняння із затриманим аргументом

В [5, 10] показано, що для математичного моделювання систем управління телекомунікаційними мережами найбільш прийнятними є різницево-диференціальні рівняння. При цьому виникає задача аналізу умов стабільності рішення такого рівняння із затриманим аргументом, а також його дискретизації для забезпечення можливості комп'ютерного моделювання систем управління телекомунікаційними мережами.

Зважаючи, що диференційне рівняння із затриманим аргументом для опису системи управління телекомунікаційними мережами є неоднорідним та з постійними коефіцієнтами, його можна представити в такому вигляді

$$\frac{dy_{as}(t)}{dt} = by_{as}(t - \tau_k) + u(t - \tau_m), \quad (1)$$

де $y_{as}(t)$ – шукана обчислювана функція; $u(t)$ – збудження;

b – коефіцієнт зворотного зв'язку; τ_k, τ_m – затримки сигнальної та управляючої інформації відповідно, при чому у загальному випадку $\tau_k \neq \tau_m$.

Слід зауважити, що інтервали змін стану телекомунікаційної мережі, які викликані затримками сигнальної та управляючої інформації τ_k, τ_m (1), значно більші від періодів тактової синхронізації мережі. Для подальшого вирішення задачі дискретизації диференційного рівняння (1) апроксимуємо його рівнянням у кінцевих різницях виду:

$$y_{as}(n) \approx y_{as}(n-1) + by_{as}(n-k) + u(n-m), \quad (2)$$

де $y_{as}(n)$ – функція стану об'єкту;

$u(n-m)$ – управляючий сигнал;

k та m – затримки сигналів стану й управління відповідно. В загальному випадку $n \neq m$.

В [14] показано, що для об'єкту, закон функціонування якого описується рівнянням (2), системна функція визначається як

$$H(z) = \frac{z^{-m}}{1 - z^{-1} - bz^{-k}}, \quad (3)$$

а характеристичний поліном цієї функції якої має вигляд

$$z^k - z^{k-1} - b = 0. \quad (4)$$

Системна функція (3) має нуль m -го порядку, який розташований у нескінченно віддаленій точці z -площини, та k полюсів, розташованих на однакових кутових відстанях $\Delta\varphi = 2\pi/k$ один від одного.

Системні функції, які представлені виразами (3) і (4), для випадків $b=0,4; k=5$ та $b=0,4; k=6$, показані на Рис. 1 та 2 [13].

У [10] обчислені асимптотичні оцінки стійкості систем з характеристичним поліномом виду (4) і області стійкості. В роботах [5, 10] визначені області стійкості систем з характеристичним поліномом виду (4) і приведені відповідні оцінки стійкості систем управління телекомунікаційними мережами. Показано, що немає однозначного рішення задачі визначення залежності між коефіцієнтом зворотного зв'язку і затримкою сигналів управління. Можна стверджувати, що для підтримки стійкості системи управління при збільшенні затримок сигналів управління необхідно зменшувати абсолютну величину коефіцієнта зворотного зв'язку в контурі управління.

В роботі [14] на Рис. 3 приведена типова модель контрольованого на основі залежностей (2)-(4) вузла телекомунікаційної мережі, дається опис схеми та особливості її функціонування. Сформульовані в загальному плані вимоги щодо визначення часу відгуку для забезпечення коректної роботи систем управління надійністю. При невеликих значеннях часу реакції мережного вузла контрольна інформація носитиме суперечливий характер і система управління може перейти у стан незатухаючих коливань і не прийде до стабільного стану. З другого боку, якщо період реакції буде занадто довгим, механізм управління станом реагуватиме надто повільно, щоб взагалі принести яку-небудь справжню користь.

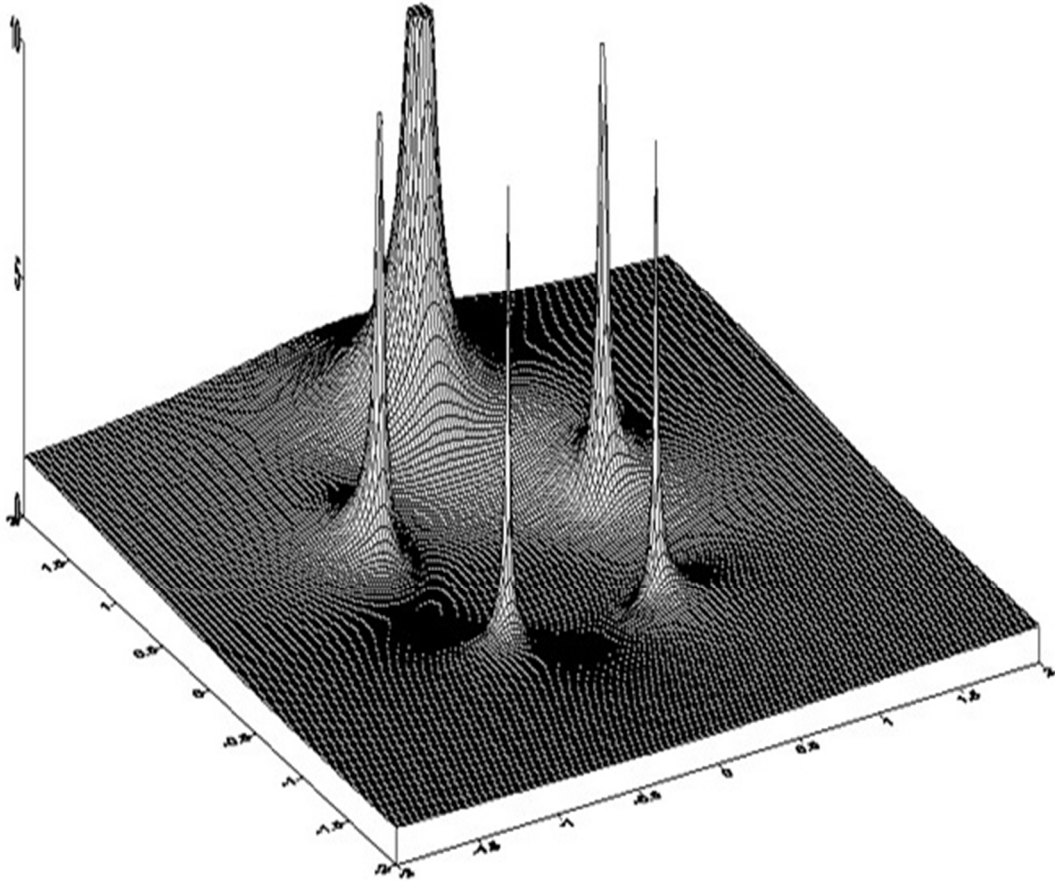


Рис. 1. Системна функція (3) для $b=0,4$ і $k=5$

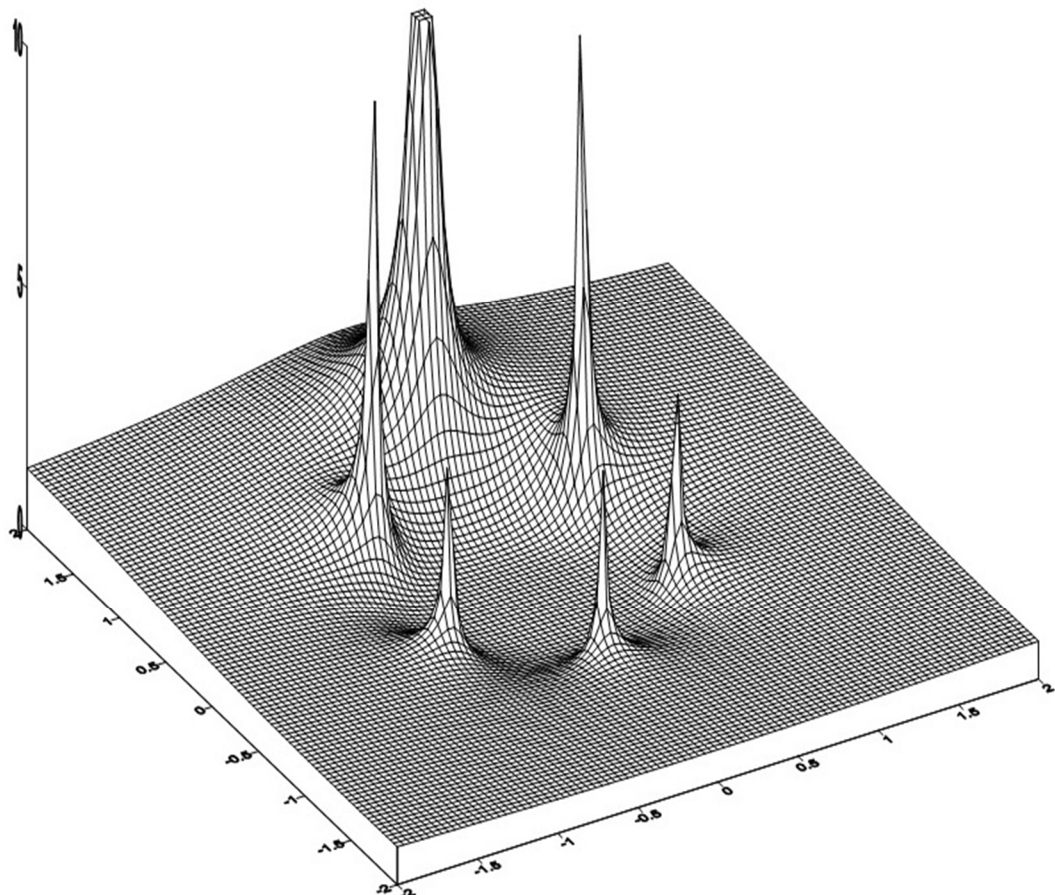


Рис. 2. Системна функція (3) для $b=0,4$ і $k=6$

Більш детально задача вибору способу адаптації та постійних часу вудгуку розглянуті в роботах [5, 10, 14], в яких отримано наступний вираз для передатної функції $H_y(z)$ системи в цілому:

$$H_y(z) = \frac{z^{-r}}{1 - H_{NN}(z)H_{CS}(z)z^{-(m+k+l)}} + \Xi(z), \quad (5)$$

де співвідношення енергії сигналу до модуля комплексної спектральної щільності зовнішньої завади $\xi(n)$ є

$$|Q_\xi(z)| = \frac{\left| \left[X_1(z^{-(m+r)})H_{NN}(z^{-r}) \right] \left[X_1^*(z^{m+r})H_{NN}^*(z^r) \right] \right|}{|\Xi(z)\Xi^*(z^{-1})|}. \quad (6)$$

В роботі [14] з використанням виразів (5), (6) було проведено результати цифрового моделювання системи управління параметрами комутаційного вузла. Були досліджені параметри системи управління для різних параметрів мережного трафіку (зокрема, трафіку *Triple/Quadro Play* з самоподібними властивостями) і з різними випадковими похибками і спотвореннями. Для забезпечення глобальної стабільності системи управління були спеціально підібрані коефіцієнти зворотного зв'язку.

Головний результат моделювання – це залежність варіацій довжини черги від часу реакції мережного вузла (число періодів l , якому відповідає затримка z^{-l}) у порівнянні з часом затримки обробки і доставки даних (число періодів, відповідно, z^{-m} , z^{-k}).

Для оптимального вибору таких важливих характеристик систем управління, як поточний час реакції об'єкту контролю, необхідно постійно аналізувати затримки сигнальної та управляючої інформації та налаштовувати під них параметри комутаційних вузлів. Цілком логічно вибирати поточний час реакції об'єкту контролю одного порядку з згаданими затримками. Про це ж свідчать і результати цифрового моделювання [14].

4. Висновки

Для забезпечення необхідного рівня функціонування системи контролю телекомунікаційною мережею слід враховувати динамічні зміни затримок сигнальної і управляючої інформації. В роботі запропонований підхід, заснований на регулярному контролі параметрів і стану мережних вузлів з урахуванням затримок поступаючої інформації про параметри і стан конкретного мережного вузла та затримок управляючої інформації, потрібної для регулювання параметрів мережного вузла як об'єкту управління. Показана доцільність і особливості використання різницево-диференціальних рівнянь для математичного моделювання систем управління телекомунікаційними мережами.

Література

1. Tanenbaum A. S. Computer Networks, 5th Ed. / Andrew S. Tanenbaum, David J. Wetherall. – Prentice Hall, Cloth, 2011. – 960 p.
2. Tanenbaum A. S. Distributed systems: principles and paradigms / Andrew S. Tanenbaum, Maarten Van Steen. – Pearson Education. Inc. Pearson Prentice Hall, Upper Saddle River, NJ 07458, 2007. – 686 p.
3. Кравченко Ю. В. Концептуальний підхід до синтезу складних технічних систем з динамічною структурою / Ю. В. Кравченко, Р. А. Миколайчук // Сучасні інформаційні технології у сфері безпеки та оборони. – 2012. – №2 (14). – С. 31-36.
4. Кривуца В. Г. Системи управління сучасним телекомунікаційними мережами: монографія / В. Г. Кривуца, Л. Н. Беркман, М. М. Климаш та інш.; за ред. В. Г. Кривуци. – К.: ДУІКТ, 2009. – 268 с.

5. Виноградов Н. А. Исследование характеристик полезной пропускной способности в условиях меняющейся нагрузки // Н. А. Виноградов, Н. Н. Лесная, А. С. Савченко, Е. В. Колесник – Проблемы інформатизації та управління : збірник наукових праць. – 2009. – Вип. 4. – С. 31 – 38.

6. Ye Ouyang. A Performance Analysis for UMTS Packet Switched Network Based on Multivariate KPIs / Ye Ouyang, Hosein Fallah M. // International Journal of Next Generation Network (IJNGN). – March 2010. – Vol. 2, No. 1. – P. 79-92.

7. Kurose J. F. Computer Networking: A Top-Down Approach / J. F. Kurose, K. W. Ross ; – 6th Ed. – Pearson Education, Inc., 2013. – 889 p.

8. Жебка В. В. Сучасні системи управління інфокомунікаційною мережею як складним об'єктом / В. В. Жебка // Наукові записки Українського науково-дослідного інституту зв'язку. – 2013. – №3(27). – С. 80-86.

9. Дымарский Я. С. Управление сетями связи: принципы, протоколы, прикладные задачи / Я. С. Дымарский, Н. П. Крутякова, Г. Г. Яновский. – Москва : ИТЦ «Мобильные коммуникации», 2003. – 384 с.

10. Лесная Н. Н. Разработка алгоритма управления интеллектуальными мультисервисными сетями / Н. Н. Лесная // Проблемы підвищення ефективності інфраструктури : збірник наукових праць. – Київ, 2005. – Вип. 11. – С. 150 – 155.

11. Tolubko V. V. An effective structure of the dynamic monitoring system of telecommunication network objects using mobile measuring devices in real-time / V. V. Tolubko, L. O. Komarova, O. O. Pin // Телекомунікаційні та інформаційні технології. – 2014. – №1. – С. 5-11.

12. Эльсгольц Л.Э. Введение в теорию дифференциальных уравнений с отклоняющимся аргументом / Л. Э. Эльсгольц, С. Б. Норкин. – Москва : Наука, 1971. – 296 с.

13. Беллман Р. Дифференциально-разностные уравнения / Р. Беллман Р., К. Л. Кук ; пер. с англ. – Москва : Мир, 1967. – 548 с.

14. Торошанко Я. И. Ретроспективная идентификация информационных и управляющих сигналов в интеллектуальных сетях связи / Я. И. Торошанко, Л. И. Танцюра, Л. А. Дёмина // Наукові праці ОНАЗ ім. О. С. Попова. – 2015. – №2. – С. 111-117.

Автори статті

Торошанко Ярослав Іванович, кандидат технічних наук, старший науковий співробітник, професор кафедри комп'ютерних систем та мереж, Державний університет телекомунікацій, м. Київ. Тел.: +380 (50) 555 51 14. E-mail: toroshanko@ukr.net.

Танцюра Людмила Іванівна, аспірант кафедри комп'ютерних систем та мереж, Державний університет телекомунікацій, м. Київ. Тел.: +380 (50) 555 51 14. E-mail: troshanko@ukr.net.

Харлай Людмила Олексіївна, голова циклової комісії інформаційних мереж зв'язку, Київський коледж зв'язку. Тел.: +380 (99) 012 33 23. E-mail: harlay@i.ua.

Хмара Костянтин Валерійович, аспірант кафедри комп'ютерних систем та мереж, Державний університет телекомунікацій, м. Київ. Тел.: +380 (63) 651 29 03. E-mail: koctyakhmara@gmail.com.

Дата надходження в редакцію: 22.10.2015 р.

Рецензент: д.т.н., проф. М. А. Виноградов