

УДК 004.7(045)

Альмар Мхамад Ібрагім Ахмад

Аспірант кафедри інформаційних технологій

Київський національний університет будівництва і архітектури, Київ

Вишняков Володимир Михайлович

Кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри інформаційних технологій

Київський національний університет будівництва і архітектури, Київ

**ЗБІЛЬШЕННЯ КОРИСНОГО ЗАВАНТАЖЕННЯ ВУЗЛОВОГО ОБЛАДНАННЯ
КОМП'ЮТЕРНИХ МЕРЕЖ**

***Анотація.** Розглянуто питання збільшення корисного завантаження вузлового обладнання комп'ютерних мереж за допомогою формування пакетного трафіку та підвищення ефективності адаптивного управління пропускною спроможністю портів вузлового обладнання. Запропонований механізм прогнозування тренду пакетного трафіка дозволяє зменшити кількість системних помилок адаптивного управління.*

***Ключові слова:** комп'ютерні мережі, вузлове обладнання, адаптивне управління, пакетний трафік, тренд трафіку*

Постановка проблеми

Однією з важливих умов під час експлуатації вузлового обладнання комп'ютерних мереж є забезпечення високого значення коефіцієнта корисного завантаження даного обладнання [1]. Цей коефіцієнт визначають як відношення середньої швидкості передачі даних крізь вузлове обладнання до пропускної спроможності даного обладнання.

Проблема щодо збільшення коефіцієнта корисного завантаження вузлового обладнання (ВО) полягає в тому, що магістральний трафік має пульсуючий характер, який відносять до самоподібних (фрактальних) випадкових процесів [2]. Таким процесам притаманні непередбачувані зміни та неможливість прогнозування. Через це наявні технології обробки протокольних блоків даних в умовах пульсуючого трафіку не в змозі забезпечити високий рівень завантаження ВО, зокрема магістральних серверів, маршрутизаторів, комутаторів, мультиплексорів, мультимедійних трансляторів тощо.

Ступінь завантаження ВО поточним трафіком на проміжку часу τ визначається коефіцієнтом завантаження K_{BO} – відношенням досягнутої на цьому проміжку швидкості (інтенсивності) обробки пакетів I_{BO} до пропускної спроможності цього обладнання C_{BO} , тобто $K_{BO}=I_{BO}/C_{BO}$. У міру підвищення завантаження ВО на часових ділянках сплесків трафіку ймовірність перенавантаження зростає, що може призвести до лавиноподібного збільшення втрат пакетів і, отже, до перевищення нормативного значення коефіцієнта втрат пакетів, що неприпустимо [3]. Тому доводиться суттєво

обмежувати середню швидкість обробки пакетів на портах ВО у порівнянні із його пропускною здатністю з тим, щоб уникнути втрат пакетів під час пульсацій трафіку. Робота пакетної мережі може вважатися лише тоді ефективною, коли кожен її ресурс є суттєво завантаженим, але не перенавантаженим. Оскільки обладнання сучасних пакетних мереж є високоякісним, то міркування економічної доцільності змушують прагнути до найбільш повного використання ресурсів такого обладнання, щоб оброблювати якомога більші обсяги даних у перерахунок на одиницю вартості задіяного обладнання. І при цьому в умовах пульсацій трафіку намагатися не втратити якість обробки інформації (зокрема, не збільшити коефіцієнт втрат пакетів нижче певних припустимих рівнів, їхні затримки тощо). Тобто, необхідно намагатися забезпечити оптимальний компроміс між рівнем завантаження ресурсів мережі і якістю надання послуг.

**Аналіз останніх досліджень
і публікацій**

З метою підвищення завантаженості ВО визначено можливі шляхи удосконалення технології адаптивного управління розподілом ресурсів пакетних мереж. У роботі Ю.А. Кочергіна [4] пропонується ефективний спосіб збільшення корисного завантаження ВО за рахунок використання механізму адаптивного перерозподілу пропускної спроможності пакетного комутатора між його портами у реальному часі. Проте цей спосіб потребує суттєвого доопрацювання, оскільки не враховує статистичні характеристики реального

пакетного трафіку (нестационарний характер пульсацій, ступінь самоподібності тощо), що суттєво зменшує ефективність застосування вищезазначеного способу на практиці. Окрім того, не враховується негативний вплив системних помилок, пов'язаних із адаптивністю та дискретністю процесу такого перерозподілу. Тому, якщо знайти способи перетворення нестационарних потоків трафіку у квазістационарні відрізки і використати можливості зменшення системних помилок адаптивного управління, то будуть усунені основні перешкоди на шляху використання адаптивного управління ресурсами ВО на практиці.

Мета статті

Мета цієї статті полягає у вдосконаленні алгоритмів адаптивного управління пропускнуою спроможністю портів вузлового обладнання пакетних мереж, що дозволяє збільшити корисне завантаження вузлового обладнання в умовах пульсуючого трафіка.

Розробка алгоритму адаптивного управління

Задачу адаптивного управління смугами портів ВО розв'яжимо на основі даних спостереження за поточними значеннями інтенсивності потоків пакетів на його портах у реальному часі шляхом її зведення до задачі динамічного вирівнювання коефіцієнтів завантаження. Для вирівнювання значень коефіцієнтів у процесі адаптивного управління використаємо один із різновидів методу динамічного програмування – метод аналітичного конструювання регуляторів, що запропонований у [9] і удосконалений у роботі [7]. Цей метод дозволяє враховувати тривалість перехідних процесів у динамічно керованих системах, що є суттєвим в умовах функціонування ВО.

Коефіцієнти завантаження портів k_i зв'яжемо зі оберненими коефіцієнтами $\eta_1, \eta_2, \dots, \eta_n$ такими співвідношеннями:

$$k_i = I_i / \Delta F_i = I / \eta_i, i = 1, 2, 3, \dots, n,$$

де $\Delta F_1, \Delta F_2, \dots, \Delta F_i, \dots, \Delta F_n$ – ширина смуг пропускання (пропускні здатності) портів ВО; $I_1, I_2, \dots, I_i, \dots, I_n$ – інтенсивність трафіка на портах ВО; n – кількість портів ВО.

Сума ширини смуг усіх портів ВО має дорівнювати його пропускній здатності:

$$C = \Delta F_1 + \Delta F_2 + \Delta F_3 + \dots + \Delta F_n.$$

У нашому випадку розв'язання задачі аналітичного конструювання регуляторів у системі розподілу пропускнуої здатності ВО доцільно здійснювати методом динамічного програмування, що передбачає необхідність побудови функції Белмана.

Задачу адаптивного розподілу пропускнуої здатності ВО між його портами поставимо як задачу вирівнювання коефіцієнтів завантаження портів з використанням методу динамічного програмування Белмана. Для цього потрібно конкретизувати рівняння настроювання, задати функціонал, що має бути оптимізованим, задати вид функції Белмана і записати відповідне їм рівняння Белмана. Це дозволяє звести задачу конструювання регуляторів до розв'язання рівняння Рікаті.

Вирівнювання коефіцієнтів завантаження портів слід вирішувати за умови збереження їхньої суми, тобто ця сума у процесі управління повинна не змінюватися і дорівнювати пропускній здатності ВО. Це можна записати у векторному вигляді таким чином:

$$\dot{N} = C \dot{i},$$

де \dot{N} – вектор пропускних здатностей портів ВО; \dot{i} – вектор керуючих впливів, що знаходиться як лінійна функція компонентів вектора \dot{N} ; C – матриця регулюючих зв'язків.

Зрозуміло, що наведене рівняння настроювання при будь-якому довільному векторному управлінні забезпечує збереження суми компонент вектора N .

Матриця C може бути несиметричною. Кожен рядок цієї матриці відповідає одному з можливих m варіантів регулюючих впливів на порти ВО.

Значення m дорівнює кількості пар портів ВО, між якими відбувається обмін смугою пропускання. У разі коли кількість портів n дорівнює 3, значення m також дорівнює 3, а якщо n дорівнює 4, то $m = 6$.

Для формального представлення адаптивної системи управління розподілом пропускнуої здатності ВО істотне значення має формування виду функціоналу, що має бути оптимізованим згідно обраного критерію.

Функціонал, що підлягає оптимізації, можна, як показано у роботі [10], задати у вигляді

$$I = \int_0^{\infty} (N^T C P C^T N + \alpha N^T C Q C^T N + u^T R u) dt,$$

де P – $m \times m$ -мірна квадратна симетрична невід'ємно визначена матриця зв'язків; α – додатна константа – множник при функції Белмана у функціоналі, що отримав назву «показник загасання функції Белмана»; R – $m \times m$ -мірна симетрична позитивно визначена матриця вагових коефіцієнтів при керуваннях; Q – $m \times m$ -мірна додатно визначена симетрична матриця квадратичної форми – функції Белмана; T – символ операції транспонування матриці.

Компоненти вектора керуючих впливів u залежать від t . Як бачимо, побудова оптимізаційного функціоналу здійснюється подібно тому, як

будується функціонал в задачі аналітичного конструювання регуляторів [9].

Перший член підінтегрального виразу являє собою зважену суму квадратів відмінків (через коефіцієнти матриці P) керованих змінних. Чим ця сума більше, тим більше значення функціоналу. Тому мінімізація функціоналу приводить до вирівнювання змінних, що є керованими. З фізичної точки зору це означає, що у разі збільшення інтенсивності потоку на i -му порту ВО цьому порту має призначатися більша частка пропускної здатності ВО, але за рахунок зменшення частки інших портів у такій мірі, щоб коефіцієнти завантаження усіх портів були майже однаковими.

Другий член функціоналу є функція Белмана, яка уведена у функціонал у вигляді складової зі заданим показником загасання. Цей член визначає швидкість перехідного процесу вирівнювання коефіцієнтів завантаження портів ВО. Відомо, що на оптимальних траєкторіях функція мінімального значення функціоналу – функція Белмана – убуває із швидкістю підінтегрального виразу функціоналу. Функція Белмана на оптимальних траєкторіях в цьому випадку убуває зі швидкістю не меншій за здобуток її самої та показника загасання α . Тому шляхом вибору значення цього показника можна забезпечити за умов адаптивного управління необхідну швидкодію системи регулювання.

Третій член функціоналу повністю збігається із відповідним членом при звичайній постановці задачі аналітичного конструювання регуляторів [9]. Його введення дозволяє обмежити управління та одночасно сприяє формальному замиканню процедури визначення оптимального управління.

Систему настроювання призначимо у вигляді

$$\begin{pmatrix} \dot{n}_1 \\ \dot{n}_2 \end{pmatrix} = \frac{c}{4} \begin{pmatrix} -1 & 1 \\ 1 & -1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} n_1 \\ n_2 \end{pmatrix},$$

а функцію Белмана будемо шукати у вигляді квадратичної форми

$$V = N^T C Q C^T N.$$

За цих умов синтезовано рівняння Белмана у такому вигляді:

$$0 = \min_u (u^T R u) + N^T C P C^T N + \alpha N^T C Q C^T N + \dot{N}^T \frac{\partial V}{\partial N} + \frac{\partial V}{\partial N^T} \dot{N}.$$

Шляхом підстановки у рівняння Белмана рівняння настроювання та після ланцюга математичних перетворень (що переважно пов'язані із рішенням рівняння Рікати) отримано остаточний вираз для регуляторів системи адаптивного розподілу ресурсу ВО:

$$u = -R^{-1} C^T C Q C^T N, \quad u^T = -N^T C Q C^T C R^{-1}$$

Підставляючи знайдене значення у рівняння настроювання, одержимо представлення адаптивної системи управління портами ВО:

$$\dot{N} = -C R^{-1} C^T C Q C^T N.$$

Це представлення не враховує можливість виникнення системних помилок адаптивного управління та їхній негативний вплив на якість управління.

Наступним питанням, яке підлягає розгляду під час побудови нашої системи, є аналіз впливу помилок адаптивного управління.

У системах адаптивного управління завжди має місце механізм прогнозування. На рисунку показано, яким чином механізм прогнозування інтегрується у систему адаптивного управління перерозподілом пропускної здатності пакетного комутатора між його портами.

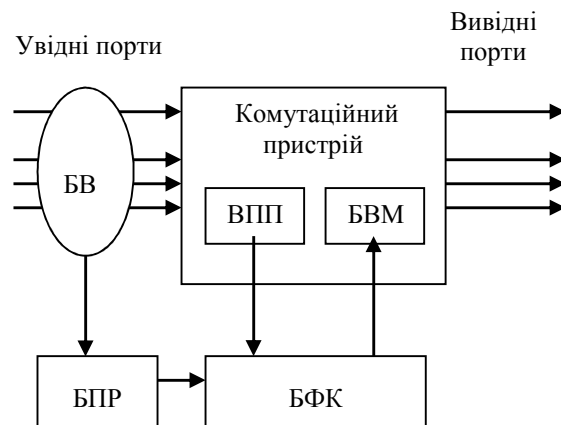


Рисунок – Узагальнена структура системи управління смугами портів

Потоки пакетів, які на рисунку зображені стрілками, перш ніж потрапити на увідні порти комутаційного пристрою (КП) проходять через блок вимірювання (БВ), який послідовно, крок за кроком, у реальному часі із наперед заданим часовим інтервалом вимірює поточні значення параметрів цих потоків, а результати вимірювань надсилає на вхід блоку прогнозування (БПР). Перш за все, вимірюються на секундних інтервалах поточні значення інтенсивності потоку пакетів I_1, I_2, \dots, I_N , де N – кількість портів у КП. У свою чергу, БПР послідовно, крок за кроком, приймає від БВ результати вимірювань значень параметрів потоків пакетів, здійснює їхню обробку таким чином, щоб сформувати послідовності вибірок даних (часових рядів), що задовольняють встановленим вимогам у рамках задіяного методу прогнозування. Окрім того, блок БПР безпосередньо реалізує задану процедуру прогнозування, а результати прогнозних оцінок

значень параметрів трафіку, зроблених на момент прийняття управлінських рішень, передає на вхід блоку формування команд управління (БФК). БФК інтегровано у склад регулятора перерозподілу пропускних спроможностей портів КП. У момент початку кожного кроку керування (на кожному кроці вимірювань) інформація щодо встановлених розміру ширини смуг усіх портів ∇F надсилається на інший вхід блоку БФК від вимірювача параметрів портів (ВПП), що функціонує у складі КП. Тобто, від ВПП на БФК передаються встановлені на попередньому кроці керування значення ширини смуг пропускання портів. На основі цієї інформації та отриманих поточних прогнозних оцінок параметрів потоків блок БФК виробляє потік керуючих впливів (у формі відповідних команд управління), що подаються на вхід блоку виконавчих механізмів (БВМ) КП. Ці виконавчі механізми БВМ згідно з отриманими командами від БФК здійснюють відповідні зміни параметрів портів КП. Алгоритм управління вибирають, виходячи із технічних умов застосування обладнання. У будь-якому випадку швидкодію системи регулювання узгоджують із динамікою змін у тренді.

Слід зазначити, що БПР здійснює прогнозування не за поточними значеннями пульсацій пакетного трафіку, а за їх усередненими значеннями $\Gamma_1, \Gamma_2, \dots, \Gamma_N$. Тобто, на кожному кроці прогнозування на основі кількох останніх точок

тренду потоку пакетів на кожному із портів визначається найближча майбутня точка цього тренду. Коефіцієнт усереднення обирається у діапазоні від 5 до 120 (і більше). Найчастіше використовуються п'ятисекундні, десятисекундні, п'ятнадцятисекундні та тридцятисекундні інтервали усереднення.

Висновки

1. Робота системи адаптивного перерозподілу пропускної здатності комутатора між його портами супроводжується виникненням системних помилок керування, що призводить, в одних випадках, до підвищення рівня втрат пакетів, а в інших, до зниження коефіцієнта завантаження комутатора корисним трафіком.

2. У переважній більшості випадків більш важливою є задача зменшення помилок, що пов'язані із втратами пакетів. Цю задачу пропонується розв'язувати шляхом уведення в контур адаптивного управління механізму прогнозування тренду пакетного трафіка.

Механізм прогнозування тренду пакетного трафіка дозволяє зменшити, а за певних умов і усунути помилки, які призводять до втрат пакетів, що дозволяє збільшити корисне завантаження вузлового обладнання комп'ютерних мереж.

Список літератури

1. Конахович Г.Ф. *Сети передачи пакетных данных [Текст] / Г. Ф. Конахович, В. М. Чуприн. – К. : "МК-Пресс", 2006. – 272 с.*
2. Городецкий А. Я. *Информатика. Фрактальные процессы в компьютерных сетях [Текст] / А. Городецкий, В. Забровский. – Санкт-Петербург : Изд-во СПб ГТУ, 2000. – 96 с.*
3. Корпоративний стандарт Укртелекому „Технічна експлуатація МПД «Укртелекому». Правила технічної експлуатації мереж передавання даних ВАТ “Укртелеком” : КСТ 64.2-21560766.001-2002. – [Чинний від 01.04.2002]. – К. : ДВІА «Зв'язок», 2002. – 87 с.
4. Кочергін Ю.А. *Задача авторегулирования перераспределением пропускной способности пакетного коммутатора между его портами [Текст] / Кочергін Ю.А. // Математичні машини і системи. – К.: ІК АНУ, 2006. – Вип. 2. – С. 60-70.*
5. Патент США №5311513, МПК⁷: H04L1/00. *Устройство формирования пакетного трафика; заявл.*
6. Патент Российской Федерации №2272362, МПК⁸:H04L12/56. *Система управления пакетным коммутатором; заявл. 20.03.06.*
7. Патент України на корисну модель № 43630 МПК⁸:H04L12/56. *Спосіб управління пульсуючими потоками протокольних блоків даних / Кочергін Ю.А.; заявл. 27.01.09.*
8. Патент України на винахід № 88143 МПК (2009) G06F 17/00. *Спосіб управління пульсуючими потоками протокольних блоків даних / Кочергін Ю.А.; заявл. 27.01.09.*
9. Бакланов И. Г. *Принципы построения и организации [Текст] / Бакланов И. Г. – М. : Эко-Трендз, 2008. – 400 с.*
10. Alomar Saleh, Alomar Mhamad, Chuprin V.M. *Adaptive Method of Increase of Package Network Load/Scientific Reserch, Engineering, 2013, 5, 1006-1011. <http://dx.doi.org/10.4236/eng.2013.512122>*

Стаття надійшла до редколегії 22.12.2014

Рецензент: д-р техн. наук, проф. Г.Ф. Конахович, Національний авіаційний університет, Київ.

Альмар Мхамад Ибрагим Ахмад

Аспирант кафедры информационных технологий

Киевский национальный университет строительства и архитектуры, Киев

Вышняков Владимир Михайлович

Кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры информационных технологий

Киевский национальный университет строительства и архитектуры, Киев

УВЕЛИЧЕНИЕ ПОЛЕЗНОЙ ЗАГРУЗКИ УЗЛОВОГО ОБОРУДОВАНИЯ КОМПЬЮТЕРНЫХ СЕТЕЙ

Аннотация. Рассмотрены вопросы повышения полезной загрузки узлового оборудования компьютерных сетей с помощью формирования пакетного трафика и повышения эффективности адаптивного управления пропускной способностью портов узлового оборудования. Предлагаемый механизм прогнозирования тренда пакетного трафика позволяет уменьшить количество системных ошибок адаптивного управления.

Ключевые слова: компьютерные сети; узловое оборудование; адаптивное управление; пакетный трафик, тренд трафика

Alomar Mhamad

PhD student, Department of Information Technology

Kyiv National University of Construction and Architecture, Kiev

Vyshniakov V.M.

Ph.D., Assistant Professor, Associate Professor, Department of Information Technology

Kyiv National University of Construction and Architecture, Kiev

INCREASE OF USEFUL LOAD OF PORT HUB COMPUTER NETWORK EQUIPMENT

Abstract. The method of loading increase of package networks is considered. This method is based on the dynamic redistribution of the throughput of switch equipment between carrying capacities (bandwidths) of its ports. Redistribution is fulfilled synchronously with the pulsations of packet streams, which move over the entrances of these ports. In the complement of switch equipment it is entered the adaptive mechanism of automatic real time redistribution of the throughput of switch equipment between the bandwidths of ports. Influence of mechanism of prognostication of package traffic on quality of work of adaptive control system a switchboard is considered. It is shown that in the process of work of the adaptive system there are errors of control that negatively influence on the level of loading of switchboard. It is also shown that plugging of mechanism of prognostication in the contour of adaptive control allows to bring down the level of system errors and, thus, to provide possibility of increase of loading switchboard and useful traffic.

Keywords: Networks, node equipment, adaptive control, package traffic, trend of traffic

References

1. Konahovych, G.F., Chupryn, V.M. (2006). *The packet data network*, Kyiv, Ukraine: "MK-Press", 272.
2. Horodetskyi, A.Ya., Zabrovskiy, V. (2000). *Informatics. Fractal processes in computer networks*, St.Petersburg, Russia, SPb HTU, 96.
3. Corporate standard of Ukrtelecom (2002). *Maintenance of Multiplexer Data of Ukrtelecom. Rules of operation of data networks VAT "Ukrtelecom": CST 64.2-21560766.001-2002*, Kyiv, Ukraine: DVIA "Zviazok", 87.
4. Kocherhin, Yu.A. (2006) *Autoregulation task redistribution capacity batch commutator between its ports*, *Mathematical Machines and Systems*, Kyiv, Ukraine: IC ASU, 2, 60-70.
5. U.S. Patent #5311513, CIC: H04L1/00. *Rate-based congestion control in packet communications networks*
6. Patent of the Russian Federation #2272362, CIC: H04L12/56, *Method of controlling the transmission of packets of digital information streams*
7. Utility patent of the Ukraine #43630, CIC: H04L12/56, *Catering pulsating flow of protocol data units.*
8. Patent of the Ukraine #88143, CIC: H04L12/56, *Catering pulsating flow of protocol data units.*
9. Baklanov, I.G. (2008). *Principles of construction and organization*, Moscow, Russia, Eko-Trendz, 400.
10. Alomar Saleh, Alomar Mhamad, Chuprin V.M. *Adaptive Method of Increase of Package Network Load/Scientific Reserch, Engineering*, 2013, 5, 1006-1011. <http://dx.doi.org/10.4236/eng.2013.512122>.

Посилання на публікацію

APA Alomar Mhamad, & Vyshniakov V.M. (2015). Increase of useful load of port hub computer network equipment. *Management of Development of Complex Systems*, Issue 21, P. 112 – 116 [in Ukrainian].

ГОСТ Альмар Мхамад. Збільшення корисного завантаження вузлового обладнання комп'ютерних мереж[Текст] / Мхамад Альмар, В.М. Вишняков// Управління розвитком складних систем.– 2015. - № 21. – С. 112 - 116.