

В. В. Ганзій, А. А. Коваленко, О. В. Ситник

Харківський національний університет радіоелектроніки, Харків, Україна

АНАЛІЗ МЕТОДІВ УПРАВЛІННЯ ПРОЦЕСАМИ ПЕРЕДАЧІ ДАНИХ ТА ТРАФІКОМ У МУЛЬТИСЕРВІСНИХ КОМП'ЮТЕРНИХ МЕРЕЖАХ

Анотація. Метою даної роботи є проведення аналізу методів управління процесами передачі даних та трафіком які зможуть забезпечити підвищення ефективності передачі даних у мультисервісних комп'ютерних мережах. Зростаючі потреби суспільства в нових послугах телекомунікаційних мереж призводять до зміни ідеології побудови останніх кожне десятиріччя. Сьогодні, на зміну технологіям, що використовують мультиплексування з розділенням та ущільненням за довжиною хвилі, приходять мультисервісні технології, основним принципом концепції яких є відділення одна від одної функцій перенесення та комутації, функцій керування транзакціями та функцій керування послугами. Зокрема, це можуть бути різноманітні корпоративні мережі, де важливо контролювати доступ до ресурсів, хмарні середовища, де надаються різноманітні послуги, онлайн-ігрові сервіси, де потрібна низька затримка та стабільне з'єднання. Щоб підвищити ефективність мультисервісних комп'ютерних мереж сьогодні інтегрують технічні засоби, що використовують асинхронний режим передачі (технологія ATM або B-ISDN), з застосунками для мережі Інтернет. При побудові таких мереж важливо враховувати класифікацію мережевих характеристик, а саме категорію трафіку для вибору оптимального методу управління. В даній статті розглянуто метод програмного управління параметрами з'єднання та методи статистичного мультиплексування передачі даних, проаналізовані основні переваги та проблеми означених методів, які вимагають подальшого їх дослідження.

Ключові слова: Метод, управління, процес, мультисервісна комп'ютерна мережа, модель, взаємодія, трафік, застосунок.

Вступ

Ефективність сучасних високошвидкісних комп'ютерних мереж різноманітних класів є критичною характеристикою для багатьох сервісів [1,2]. Для визначення ефективності мультисервісної комп'ютерної мережі (MCM) необхідно дотримуватись основних визначень, які існують у міжнародних стандартах [3]. Базові поняття, на які опираються більшість визначень, є наступними: зв'язок – процес передавання інформації відповідно деяким правилам; з'єднання – деяка асоціація двох або більше пристроїв для здійснення зв'язку між ними; ресурс – загальна назва фізичних або концептуальних сутностей всередині телекомунікаційних мереж, використання яких визначається однозначно; користувач – загальний термін для усіх зовнішніх по відношенню до мереж сутностей, які використовують з'єднання через мережу для комунікації [4–6].

У процесі комунікації користувачів у MCM виникає потік повідомлень – трафік, який може бути охарактеризований кількісно. Зазвичай для кількісної характеристики трафіка використовується його об'єм. Для цифрових систем ця величина асоціюється з числом бітів, які були передані за заданий час. Однак для аналогових систем такий підхід виявляється неприйнятним. Більш того, при використуванні цифрових систем зі складними способами модуляції та кодування сигналів, визначення об'єму трафіка стає неоднозначним. Тому кількісною характеристикою об'єму трафіку, який був використаний тим чи іншим ресурсом, визначають величину сумарного, інтегрального інтервалу часу, протягом якого даний ресурс був зайнятий за період часу, що аналізується. Іноді таку величину називають роботою ресурсу протягом заданого часу.

Мета статті – аналіз методів управління процесами передачі даних та трафіком для підвищення

ефективності мультисервісної комп'ютерної мережі та виявлення основних переваг і проблем даних методів для подальшого їх дослідження та впровадження.

Аналіз методів управління процесами передачі даних в MCM

У складному процесі взаємодії інформаційних процесів в комп'ютерних мережах можна виділити ряд аспектів, з яких можна визначити, що методи управління мережевими процесами у віртуальних каналах зв'язку займають одне з центральних місць.

У зв'язку з постійно зростаючими вимогами до швидкості обміну даними розвиток мережевих технологій здійснюється шляхом інтеграції технічних засобів, що використовують асинхронний режим передачі (технологія ATM або B-ISDN), з застосунками для мережі Інтернет. В основі мережевої інтеграції лежать програмно-апаратні засоби передачі даних, що реалізують управління на різних рівнях моделі міжмережної взаємодії OSI [7,8].

З позицій теорії управління, при розгляді процесів в інтегрованій мережі можна виділити такий важливий аспект, як інформаційні сигнали, що дозволяють здійснювати управління, передаються в одних і тих же фізичних, а інколи і логічних каналах зв'язку [9, 10]. Можливість їх взаємного впливу може приводити до істотної зміни параметрів роботи застосунків і є причиною виникнення складних біфуркаційних явищ, які виявляються в нерівномірному або вибуховому характері протікання мережевих процесів (рис. 1).

Тому для управління такими процесами потрібна розробка адекватних математичних моделей, що враховують в конструктивній формі як статистичний характер, так і динаміку передачі пакетів на різних рівнях протоколів міжмережної взаємодії, включаючи часові і просторові характеристики.

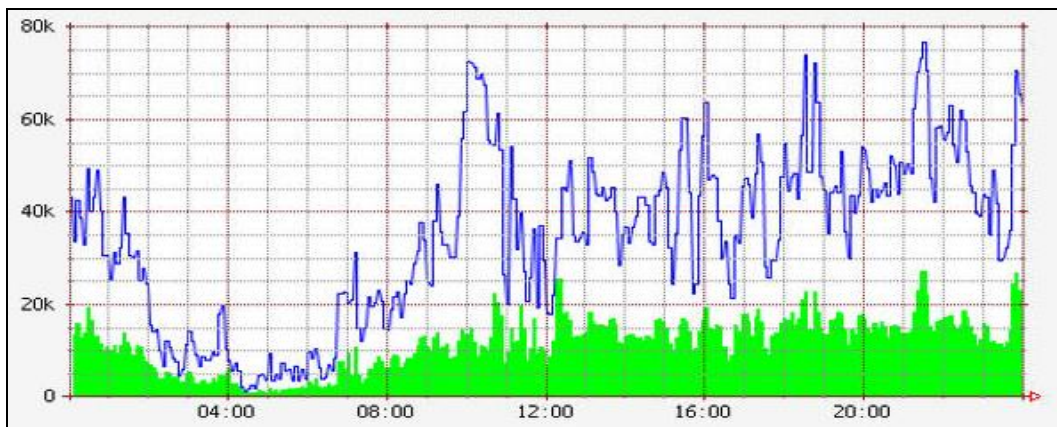


Рис. 1. Вибуховий характер зміни інтенсивності трафіку у віртуальному каналі в залежності від часу

Розгляд прикладів успішного використання мережних технологій дозволяє на якісному рівні визначити властивості комп'ютерних мереж як об'єктів управління і кількісно охарактеризувати різні аспекти використання даних про їх параметри і структуру, взаємодії застосунків, що безпосередньо впливають на якість.

З точки зору інформації про зв'язаність мережних вузлів, підходи до формування і управління віртуальними з'єднаннями можна розділити на два класи: комутація і маршрутизація. У першому випадку в системі управління аналізуються дані про структуру з'єднання вузлів по всьому маршруту передачі повідомлення, в другому – використовується лише локальна інформація про досяжність суміжних вузлів, а передача даних починається відразу ж після формування запиту. Сучасні підходи до формулювання вимог до мережних систем управління засновані на складанні специфікацій параметрів віртуальних з'єднань і їх властивостей з врахуванням особливостей застосунків.

Категорія «постійна швидкість передачі» (CBR, Constant Bit Rate) використовується для застосунків, що вимагають жорстких обмежень на величину затримки або її варіації (джітер). Вважається, що для трафіку CBR заздалегідь відомі характеристики потоків даних на каналному і мережному рівнях. Тому можливості CBR перш за все використовують для ізохронних застосунків із впорядкованою доставкою пакетів, наприклад, при передачі аудіо або відео потоків даних. При організації каналу CBR необхідно забезпечити постійну пропускну здатність віртуального з'єднання μ , отже, гарантувати малі зміни у варіаціях затримки ΔT при передачі пакетів. Це досягається шляхом використання методів програмного управління параметрами з'єднанням, в припущенні, що інтенсивність генерації даних λ за час сеансу зв'язку свідомо задовольнятиме умові

$$\lambda(t) < \mu(t). \quad (1)$$

На практиці, при встановленні з'єднання CBR, через те, що миттєві значення інтенсивності λ , для будь-якого моменту часу вельми важко передбачити заздалегідь, замість умови (2.1) використовується жорсткіше обмеження $\lambda(t) \ll \mu(t)$. В результаті за віртуальним з'єднанням на весь час сеансу зв'язку

повністю закріплюються надлишкові ресурси, які заздалегідь узгоджуються з системою управління доступом (Connection admission control, SAC). Проте система SAC може відкинути або відкласти на невизначений час встановлення даного з'єднання CBR, якщо в мережі ATM не вистачає для цього ресурсів.

Категорія «змінна швидкість передачі» (VBR, Variable Bit Rate) застосовується для застосунків, які мають строгі обмеження на величину затримки, але передають дані із змінною інтенсивністю. Прикладом такого типу з'єднань можуть служити компресований голосовий сигнал і цифрові потоки даних, що знімаються з передавальної відео апаратури. Категорія VBR вимагає від віртуального з'єднання забезпечення деякого значення еквівалентної пропускну здатності $\mu(t)$, яка була б менше можливого пікового значення, але більше усередненої на всій реалізації інтенсивності генерації даних джерелом трафіку VBR

$$\mu(t) = M\{\lambda(t)\} + b * D, \quad (2)$$

де $M\{\cdot\}$ – символ операції усереднювання на реалізаціях процесу $\lambda(t)$; D – параметр, що характеризує дисперсію процесу; b – параметр з'єднання VBR.

У рекомендаціях ATM допустиме значення перевищення пропускну здатності каналу VBR над середнім значенням швидкості генерації даних не регламентується, проте вважається, що її величина повинна вибиратися з врахуванням вірогідності великих локальних відхилень $\lambda(t)$ від середньостатистичних значень $M\{\lambda(t)\}$. З'єднання, відповідні категорії VBR, організуються лише в тому випадку, якщо значення еквівалентної пропускну здатності може бути виділене у всіх вузлах мережі, через яку проходить віртуальне з'єднання.

Категорія «невизначена швидкість передачі» (UBR, Unspecify Bit Rate) була розроблена для застосунків, які забезпечують «сервіс найкращих зусиль». Категорія UBR характерна для багатьох застосунків, що функціонують в мережі Інтернет і використовують транспортний протокол TCP. Надійність доставки даних і інші характеристики такого віртуального з'єднання не гарантуються жодними механізмами управління на каналному рівні і забезпечуються лише за допомогою транспортних протоколів або засобами самих мережних застосунків (рис. 2).

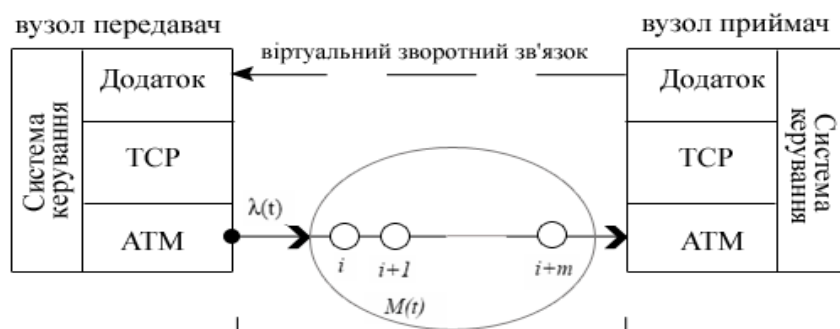


Рис. 2. Структура віртуального з'єднання UBR, що проходить крізь $i+m$ вузлів

Вважається, що завжди існує множина потенційних споживачів для даної категорії мережевого сервісу, тому трафік UBR може бути схильний до тимчасових перевантажень, що призводить до втрати даних. Це відбувається, коли число заявок на виділення пропускну здатності з'єднання більше, ніж реально для цих цілей можна надати у момент часу. В результаті підсумкова продуктивність сервісу UBR значною мірою визначається можливостями системи управління прогнозувати стан віртуальних з'єднань і перерозподіляти на цій основі доступні мережеві ресурси.

Досвід роботи з комп'ютерними мережами показав, що методи статистичного мультиплексування дозволяють істотно підвищити рівень використання мережевих ресурсів при збереженні високої якості роботи застосунків за рахунок управління процесами буферизації пакетного трафіку. Найбільшого ефекту можна досягти при зменшенні затримок в ланцюзі зворотного зв'язку за допомогою введення контуру управління інтенсивністю передачі.

Управління трафіком в середовищі мультисервісної мережі

При розгляді механізмів взаємодії різних контурів управління трафіком у високошвидкісних комп'ютерних мережах можна виділити наступні аспекти:

- алгоритми регулювання рівня завантаження в буферах перевантажених вузлів;
- методи резервування і перерозподілу ресурсів,
- алгоритми управління швидкістю передачі пакетів в каналах зв'язку.

Всі перераховані вище засоби управління мережевим трафіком мають на меті підвищити продуктивність і якість роботи застосунків, що використовують можливість як транспортного протоколу (наприклад, TCP), так і апаратно-програмних пристроїв мережі АТМ для усунення втрат пакетів у віртуальних з'єднаннях. Досвід практичної експлуатації застосунків, що використовують протокол TCP в мережі АТМ показує, що без використання спеціальних механізмів оперативного управління перевантаженнями за допомогою відкидання свідомо непотрібних маршрутів, то мережева продуктивність може бути вельми низькою. Тому в алгоритм управління необхідно включити засоби відкидання сегментів TCP (які зазвичай інкапсульовані в IP-пакети),

якщо одну із складових пакету, отриманих після процедури фрагментації, було втрачено.

Перший і широко використовуваний в цьому випадку алгоритм управління, заснований на відкиданні всіх складових пакету, наступних за втраченою, яка належить даному пакету IP (PPD, partial packet discard). Модифікацією цього механізму управління є схема раннього відкидання складових (EPD, early packet discard). В цьому випадку використовується алгоритм короткострокового передбачення рівня заповнення буфера комутатора і, якщо довжина черги перевищує певний рівень або деякий критичний поріг, то система управління приймає рішення про відкидання всіх складових, що належать певній кількості (наприклад, одному) сегментів TCP. Така схема управління трафіком дозволяє підвищити продуктивність транспортних з'єднань. Проте, вибір обґрунтованого значення величини критичного порогу заповнення буфера вимагає вивчення такої структури в загальному випадку нестационарних потоків даних і створення ефективних алгоритмів передбачення стану каналів.

Друга схема відкидання складових заснована на програмному управлінні ресурсами мережі і вимагає апріорного їх резервування для кожного з віртуальних з'єднань.

Основна перевага такого підходу полягає в тому, що можна гарантувати нульовий рівень втрат складових, викликаних переповненням пристроїв буферизації. Проте об'єм ресурсів буферної пам'яті, який дозволяє ефективно використовувати таку схему управління потоком, залежить від величини затримки при поширенні пакетів і флуктуації пропускну здатності лінії зв'язку.

Складність в коректній оцінці необхідного буферного простору призводить до того, що в сучасних комутаторах АТМ реалізовано два спрощені варіанти схеми такого управління:

- використання строгого розділення буфера на сегменти, які закріплюються за окремими віртуальними з'єднаннями;
- використання єдиного буферного простору, що розділяється всіма віртуальними з'єднаннями одночасно, об'єм якого може змінюватися в часі.

Хоча теоретично в цьому випадку можливо забезпечити незалежне управління потоками для кожного зі з'єднань, але при цьому вельми неефективно використовується найбільш дорогий ресурс комутатора – пам'ять, яка закріплена за окремим буфером.

Для подолання подібного недоліку застосовується модифікована схема спільного використання вільного об'єму буфера всіма віртуальними каналами. При такій схемі управління істотні переваги мають алгоритми із зворотним зв'язком, безпосередньо реалізованим в кожному з каналів зв'язку.

Для цього за віртуальним каналом закріплюється певна кількість доступних для використання узагальнених мережевих ресурсів (кредитів). Пакет з конкретного віртуального з'єднання може бути переданий лише в тому випадку, якщо це з'єднання має позитивну кількість кредитів. Інформація про величини кредитів пересилаються по мережі одночасно з передачею пакетів даних між вузлами. У новому вузлі число кредитів змінюється відповідно до його поточного стану.

Практична реалізація такої кредитної схеми передбачає, що буфер в передавальному вузлі розділяється на дві зони.

Висновки

В даній статті розглянуто класифікації мережевих характеристик та були визначені спеціальні категорії трафіку, для яких використовуються різні системи управління. Проведено аналіз методів управління, виявлено основні переваги, а також проблеми даних методів, що вимагають подальшого їх дослідження.

Напрямок подальших досліджень є розробка адекватних моделей трафіку та відповідне вдосконалення методів управління процесами передачі даних.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Ярошевич, Р.О. Аналіз підходів до мінімізації затримок тактильного інтернету у комп'ютерних мережах / Р.О. Ярошевич, А.А. Коваленко // Проблеми інформатизації. Тези доповідей дев'ятої міжнародної НТК. – Черкаси: ЧДТУ; Харків: НТУ «ХПІ»; Баку: ВА ЗС АР; Бельсько-Бяла: УТІГН; Харків: ДП «ПД ПКНДІ АП», 2021. – С. 101.
2. Tehrani M. N., et al. Device-to-Device Communication in 5G Cellular Networks: Challenges, Solutions, and Future Directions // IEEE Communications Magazine. 2014. Vol. 52. Iss. 5. pp. 86–92.
3. Ateya A. A., Vybornova A., Kirichek R., Koucheryavy A. Multilevel Cloud Based Tactile Internet System // Proc. of 19th International Conference on Advanced Communication Technology (ICACT) 2017. pp. 105–110
4. Volkov, A., Ateya, A. A., Muthanna, A., Kirichek, R. MEC and SDN/NFV as a Solution for Providing 1ms in 5G/IMT-2020 Communication Networks // 73rd All-Russian Scientific-Technical Conference, Dedicated to the Day of Radio. 2018. Pp. 192–193.
5. Kovalenko, A., Kuchuk, H., Kuchuk, N. and Kostolny, J. (2021), "Horizontal scaling method for a hyperconverged network", 2021 International Conference on Information and Digital Technologies (IDT), Zilina, Slovakia, doi: <https://doi.org/10.1109/IDT52577.2021.9497534>
6. Kuchuk, N., Kovalenko, A., Ruban, I., Shyshatskyi, A., Zakovorotnyi, O. And Sheviakov, I. (2023), "Traffic Modeling for the Industrial Internet of NanoThings", 2023 IEEE 4th KhPI Week on Advanced Technology, KhPI Week 2023 - Conference Proceedings, 194480, doi: <http://dx.doi.org/10.1109/KhPIWeek61412.2023.10312856>
7. Коваленко А. А., Кучук Г. А. Методи синтезу інформаційної та технічної структур системи управління об'єктом критичного застосування. *Сучасні інформаційні системи*. 2018. Т. 2, № 1. С. 22–27. DOI: <https://doi.org/10.20998/2522-9052.2018.1.04>
8. Зиков І. С., Кучук Н. Г., Шматков С. І. Синтез архітектури комп'ютерної системи управління транзакціями e-learning. *Сучасні інформаційні системи*. 2018. Т. 2, № 3. С. 60–66. DOI: <https://doi.org/10.20998/2522-9052.2018.3.10>
9. Ruban, I.V., Martovytskyi, V.O., Kovalenko, A.A. and Lukova-Chuiko, N.V. (2019), "Identification in Informative Systems on the Basis of Users' Behaviour", Proceedings of the International Conference on Advanced Optoelectronics and Lasers, CAOL 2019-September, 9019446, pp. 574-577, DOI: <https://doi.org/10.1109/CAOL46282.2019.9019446>
10. Sharma, S.K., Woungang, I., Anpalagan, A., Chatzinotas, S. (2020). Toward Tactile Internet in beyond 5G era: recent advances current issues, and future directions. *Ieee Access*, 8, 56948-56991.

Received (Надійшла) 22.11.2023

Accepted for publication (Прийнята до друку) 17.01.2024

Analysis of methods for data transfer processes and traffic management in multiservice computer networks

Viktor Ganzii, Andriy Kovalenko, Oleksii Sytnyk

Abstract. The purpose of this work is to analyze the methods for data transfer processes and traffic management that will be able to increase the efficiency of data transmission in multiservice computer networks. The growing needs of society for new services of telecommunication networks lead to a change in the ideology of the construction of the latter every decade. Today, technologies using wavelength division multiplexing and compression are being replaced by multiservice technologies, the basic concept of which is to separate transport and switching functions, transaction management functions, and service management functions from each other. In particular, it can be diverse corporate networks where it is important to control access to resources, cloud environments where various services are provided, online game services where low latency and stable connection are required. In order to increase the efficiency of multiservice computer networks today, technical means using asynchronous transmission mode (ATM or B-ISDN technology) are integrated with applications for the Internet. When building such networks, it is important to consider the classification of network characteristics, namely the category of traffic for choosing the optimal management method. In this article, the method of software control for connection parameters and methods of statistical multiplexing of data transmission are considered, the main advantages and problems of these methods, which require further research, are analyzed.

Keywords: method, management, process, multiservice computer network, model, interaction, traffic, application.