

DOI: 10.18372/2310-5461.65.19924
УДК 629.735.064 5:621.39 (075.8)

О. В. Толстікова, канд. техн. наук, доц.
Державний університет «Київський авіаційний інститут»
orcid.org/0000-0002-7616-2757
e-mail: olena.tolstikova@npp.kai.edu.ua;

А. А. Скрипніченко, аспірант
Державний університет «Київський авіаційний інститут»
orcid.org/0000-0003-4184-6830
e-mail: skriptrak@ukr.net;

С. В. Водоп'янов, канд. техн. наук
Державний університет «Київський авіаційний інститут»
orcid.org/0009-0006-0424-6173
e-mail: serhii.vodopianov@npp.kai.edu.ua;

В. І. Дрововозов, канд. техн. наук, доц.
Державний університет «Київський авіаційний інститут»
orcid.org/0000-0002-6303-9741
e-mail: volodymyr.drovovozov@npp.kai.edu.ua;

М. В. Рюмина
Державний університет «Київський авіаційний інститут»
orcid.org/0009-0004-5397-9467
e-mail: 7328568@stud.kai.edu.ua

БАГАТОШВИДКІСНЕ ФОРМУВАННЯ ПОТОКІВ ДАНИХ У КОМП'ЮТЕРНИХ МЕРЕЖАХ З РІЗНОРІДНИМ САМОПОДІБНИМ ТРАФІКОМ

Вступ

З розвитком сучасних комп'ютерних мереж значно зростає складність управління потоками даних, особливо в умовах різноманітного самоподібного трафіку. Такий тип трафіку характеризується масштабною варіативністю, що впливає на ефективність передачі інформації та якість обслуговування. Оптимізація механізмів формування багатошвидкісних потоків даних є ключовим аспектом забезпечення стабільності, надійності та продуктивності мережевих систем.

Актуальність теми зумовлена необхідністю адаптивних методів управління, здатних балансувати навантаження та мінімізувати затримки. В умовах постійного зростання обсягів переданої інформації та вимог до швидкодії мережі ефективно управління потоками є вирішальним фактором для підтримки якісного обслуговування користувачів. У роботі розглядаються сучасні методи багатошвидкісного формування потоків даних, їх вплив на продуктивність мережевої інфраструктури та перспективи удосконалення алгоритмів маршрутизації.

Відповідно до моделі інфокомунікаційної системи, характерною її особливістю є поділ рівнів термінального обладнання клієнта, мереж досту-

пу та транспортних мереж, засобів сигналізації та управління, засобів створення послуг. Мережі нових поколінь характеризуються такими важливими особливостями:

- багатошарова інфраструктура з кількістю незалежних верств від 4 до 6 (за оцінками різних фахівців), причому кожен із нових верств може створюватися незалежно від інших згідно з еталонною моделлю відкритих систем;
- наявність відкритих інтерфейсів та стандартних протоколів обміну між апаратурою доступу, комутації, керування та сигналізації;
- підтримка старих та створення нових послуг з універсальним доступом із будь-якої підмережі того чи іншого виду;
- конвергенція послуг обміну даними;
- незалежність технологій створення апаратури та розробки програмного забезпечення (ПЗ) від технологій передачі та обробки даних;
- вирішення проблем сигналізації та управління на якісно новому рівні;
- підтримка технології комутації пакетів із збереженням протягом деякого (як правило, досить короткого) періоду технології комутації каналів.

Постановка проблеми

Необхідно розглянути концепцію формування трафіку із використанням адаптивного маркерного відра.

Для програмних застосунків, які неперервно виникають, необхідна ширша функціональність QoS, зокрема, вимірювання пропускнуої спроможності. Для цього потрібна конкретизація профілю пропускнуої спроможності з урахуванням пакетів, переданих на порт комутатора з узгодженою (в середньому) швидкістю передачі, та пакетів зі швидкістю, що дорівнює або вище за граничну. Пакети, швидкість яких не перевищує узгоджену швидкість, пропускаються до мережі та доставляються відповідно до угоди про рівень обслуговування або специфікації рівня обслуговування (Service Level Specification – SLS). Швидкість цих пакетів відповідає профілю пропускнуої спроможності. Пакети, швидкість яких вища за узгоджену, але нижчу за граничну швидкість, не відповідають профілю пропускнуої здатності. Вони також проходять до мережі, але доставляються без гарантій сервісу. Пакети, швидкість яких перевищує граничну, відкидаються. Зазвичай для вимірювання профілю пропускнуої спроможності застосовують одну з двох сукупностей кількісних та якісних (порівняльних) оцінок: «два розряди – три кольори» або «один розряд – три кольори». В обох методах пакети забарвлюються залежно від їхньої відповідності угоді про рівень обслуговування. Оскільки інтенсивність трафіку може коливатися в широких межах, і можуть мати місце короточасні сплески, при дворозрядній триколірній градації вимірювання передбачається можливість сплеску інтенсивності вище узгодженої інформаційної норми (CIR) та граничної інформаційної норми (EIR) на певну величину без маркування пакетів жовтим. Назвемо таке проміжне забарвлення умовним.

Ефективність використання мережі в значній мірі визначається якістю управління в умовах перевантаження. Одним з поширених методів боротьби з перевантаженнями є управління зі зворотним зв'язком. Механізм управління зі зворотним зв'язком може поліпшити продуктивність мережі, скорочуючи втрати пакетів, і запобігти поширенню перевантаження.

По суті, має місце управління з зворотним зв'язком, що запізнюється. При невірному обрахуванні характеристик запізнювання система може або втратити стійкість і перейти в режим незатухаючих коливань, або коригування інтенсивності потоку буде здійснюватися занадто пізно. Це призводить до погіршення продуктивності мережі, особливо для додатків реального часу.

Ще більш грізні наслідки можуть виникати у системах жорсткого реального часу.

Аналіз досліджень і публікацій

У роботі [1] викладено аналіз потенціальних характеристик пристроїв комутації та управління мережами нових поколінь. В роботі [2] надано аналіз навантаження на мережі передачі даних в системах критичного застосування. При розробці та впровадженні мереж нових поколінь переслідуються головна мета: передача та обробка різноманітного трафіку (мова, дані, відео) з якістю, що досягається в мережах з однорідним трафіком, в яких надаються послуги операторського класу (з коефіцієнтом готовності «п'ять дев'яток»). У цьому сенсі можна говорити про «конвергенцію мереж», під якою мається на увазі надання можливостей обміну різноманітними даними між гетерогенними мережами [3, 4]:

- комп'ютерними мережами з однорідним трафіком;
- складеними комп'ютерними мережами;
- безпроводовими мережами;
- «чистими» IP-мережами.

Проаналізовано вимірювання навантаження та керування специфікацією пакетів з нелінійно змінюваним розміром вікна «жовтого діапазону» швидкості та змінювання в межах, що залежать від максимальної пропускнуої спроможності комутатора. Насправді немає сенсу розраховувати похідні вищого порядку, ніж другий (швидкість і прискорення), оскільки точність статистичного оцінювання швидко погіршується [6].

Метою роботи є аналіз принципів побудови сучасних пристроїв формування та регулювання трафіку у гетерогенних комп'ютерних мережах. Зроблено оцінку характеристик, які мають принципове значення для використання в комп'ютерних мережах з різноманітним трафіком, і можуть вплинути на функціонування мереж в умовах як збільшення обсягів трафіку, так і зміни його якісних характеристик.

Виклад основного матеріалу

Якість управління мережею в умовах перевантаження значною мірою впливає на її ефективність. Один із широко застосовуваних методів для вирішення проблеми перевантажень – управління зі зворотним зв'язком. Цей механізм дозволяє підвищити продуктивність мережі, мінімізуючи втрати пакетів і запобігаючи розповсюдженню перевантаження.

Для систем без зворотного зв'язку вирішення проблеми вирівнювання швидкості передачі даних може бути вирішено за допомогою алгоритмів «дірявого відра» і «маркерного відра».

До речі, в алгоритмах «дірявого відра» і «маркерного відра» також можна використовувати зворотний зв'язок.

Алгоритм «дірявого відра», по суті, представляє собою механізм регулювання трафіку, коли частина потоку пакетів, що перевищує пропускну здатність мережі, просто відкидається або позначається як надлишкова або низько пріоритетна.

У даній роботі розроблений формувач трафіку зі змінними швидкостями C_{IR} та E_{IR} . На відміну від розробки, проведеної у роботі [3], C_{IR} та E_{IR} змінюються відповідно не тільки до швидкості, а й до прискорення зростання інтенсивності трафіку.

На рис. 1 зображена схема формувача самоподібного мережного трафіку, основним елементом якого є інтегратор на базі рекурсивного циф-

рового фільтру M -го порядку з ваговими коефіцієнтами:

$$k_0 = k_0(t), k_1 = k_1(t), k_2 = k_2(t), \dots, k_m = k_m(t)$$

у ланках зворотного зв'язку. Принцип роботи формувача доволі простий. При надходженні заявок лічильник підраховує їх кількість за одиницю часу. Оцінюється швидкість, прискорення та старші похідні потоку пакетів, якими заповнюється буферна пам'ять. Керуючими сигналами $y_{db}(t - \tau)$, $y_{tb}(t - \tau)$ регулюється розмір буферів даних і маркерів і частота серій маркерів. Ці сигнали визначаються за допомогою параметрів трафіку, включаючи миттєву інтенсивність і вид статистичного розподілу (наприклад, розподіл з важким хвостом, якщо трафік самоподібний).

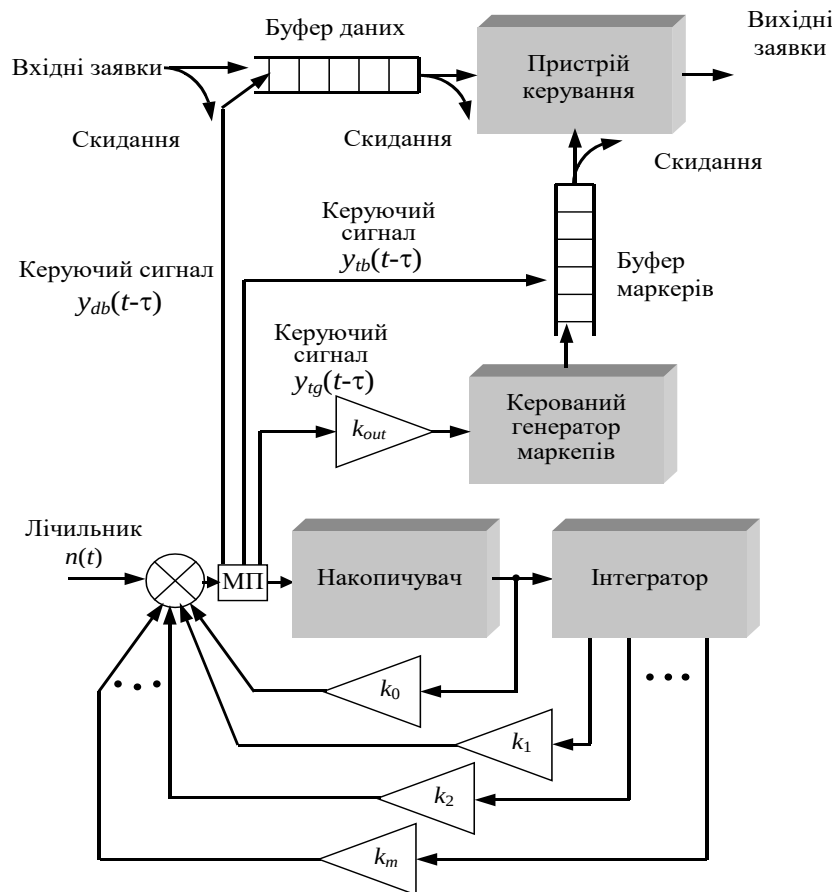


Рис. 1. Схема багатошвидкісного формувача самоподібного мережного трафіку з адаптацією до параметрів інтенсивності потоку; МП - мультиплексор

На практиці недоцільно розраховувати похідні процесу накопичення вище 2-го порядку (зростання завантаження буферної пам'яті, швидкість зростання завантаження) через швидке погіршення точності результатів при оцінюванні вищих похідних. Таким чином, ці результати не впливатимуть на кінцеву ефективність процесу керування. Крім того, на відміну від традиційних підходів, багатошвидкісні адаптивні механізми

формування трафіку мають багато степенів свободи. В результаті ми отримуємо допоміжні опції для зберігання трафіку, що надходить, виключення втрати пакетів і, відповідно, зменшення кількості повторних передач.

Лічильник підраховує число пакетів, що поступають на вхід формувача. Накопичувач – це, по суті, дискретний інтегратор (скалярний або векторний), який представляє собою цифрову

лінію затримки з відведеннями, до яких підключені пристрої множення на вагові коефіцієнти:

$$k_0 = k_0(t), k_1 = k_1(t), k_2 = k_2(t), \dots, k_m = k_m(t).$$

Нагадаємо, що аналоговим прототипом i -го цифрового пристрою множення є звичайний підсилювач з коефіцієнтом підсилення $k_i(t)$.

Частота генератора маркерів регулюється у залежності від числа накопичених пакетів, швидкості їх накопичення (теоретично – також і вищих похідних, хоча, як здавалося раніше, зазвичай використовуються лише похідні порядку не вище другого). При спустошенні буферної пам'яті (маркерного відра) швидкість має бути обмежена у залежності від параметрів вхідного трафіку та потенційних можливостей вузла призначення.

Розширення зони «жовтої» області, у свою чергу, дозволяє на 10 %–15 % подовжити інтервал формування періодичного трафіку.

Узгоджений розмір групи пакетів (CBS) – це максимальне число байт, яке допускається сплеск інтенсивності потоку пакетів вище CIR. Пакети все ще фарбуються у зелений колір. Граничний розмір групи пакетів (EBS) – це максимальне число байт, яке допускається сплеск інтенсивності потоку пакетів вище EIR. Пакети все ще фарбуються у жовтий колір. Коли розмір групи пакетів перевищує EIR, пакети забарвлюються у червоний колір. Адаптацію до зміни тривалості пакетів, що надходять, можна здійснювати наступним чином:

- змінюючи тривалість маркера при постійній тривалості захисного інтервалу;
- змінюючи тривалість захисного інтервалу при постійній тривалості маркера.

І в тому, і в іншому випадку швидкості EIR і CIR змінюватимуться до меж, які залежать від максимальної пропускної спроможності комутаційного вузла. Адаптуватися до зміни середньої інтенсивності пакетів доцільно шляхом зміни швидкостей EIR та CIR.

Ефективність використання мережі в значній мірі визначається якістю управління в умовах перевантаження. Одним з поширених методів боротьби з перевантаженнями є управління зі зворотним зв'язком. Механізм управління зі зворотним зв'язком може поліпшити продуктивність мережі, скорочуючи втрати пакетів, і запобігти поширенню перевантаження.

По суті, має місце управління з зворотним зв'язком, що запізнюється. При невірному обрахуванні характеристик запізнювання система може або втратити стійкість і перейти в режим незатухаючих коливань, або коригування інтенсивності потоку буде здійснюватися занадто пізно. Це призводить до погіршення продуктивності

мережі, особливо для додатків реального часу. Ще більш грізні наслідки можуть виникати у системах жорсткого реального часу.

Для систем без зворотного зв'язку вирішення проблеми вирівнювання швидкості передачі даних може бути вирішено за допомогою алгоритмів «дірявого відра» і «маркерного відра». До речі, в алгоритмах «дірявого відра» і «маркерного відра» також можна використовувати зворотний зв'язок.

Алгоритм «дірявого відра», по суті, представляє собою механізм регулювання трафіку, коли частина потоку пакетів, що перевищує пропускну здатність мережі, просто відкидається або позначається як надлишкова або низько пріоритетна.

На практиці недоцільно розраховувати похідні процесу накопичення вище 2-го порядку (зростання завантаження буферної пам'яті, швидкість зростання завантаження) через швидке погіршення точності результатів при оцінюванні вищих похідних. Таким чином, ці результати не впливатимуть на кінцеву ефективність процесу керування. Крім того, на відміну від традиційних підходів, багатошвидкісні адаптивні механізми формування трафіку мають багато степенів свободи. В результаті ми отримуємо допоміжні опції для зберігання трафіку, що надходить, виключення втрати пакетів і, відповідно, зменшення кількості повторних передач.

Нагадаємо, що аналоговим прототипом i -го цифрового пристрою множення є звичайний підсилювач з коефіцієнтом підсилення $k_i(t)$. При спустошенні буферної пам'яті (маркерного відра) швидкість має бути обмежена у залежності від параметрів вхідного трафіку та потенційних можливостей вузла призначення.

Розширення зони «жовтої» області, у свою чергу, дозволяє на 10 %–15 % подовжити інтервал формування періодичного трафіку [6].

На рис. 2 зображено графік процесу фарбування пакетів залежно від результатів виміру. Алгоритм виміру використовується у моделі маркерного відра. Відповідно до алгоритму визначається, які пакети мають параметри, що знаходяться в межах допустимої пропускної спроможності, та для яких пакетів ці межі перевищені. У моделі використовуються два відра, одне з об'ємом, рівним CBS (відро С), інше – з об'ємом, рівним EBS (відро Е). Маркери надходять у відра зі швидкостями, рівними CIR та EIR відповідно. Одночасно щоразу, коли відправляється черговий пакет чи група пакетів, група маркерів, тривалість якої чисельно дорівнює тривалості групи пакетів, з відер.

Поки відро С не спустошено, пакети забарвлюються у зелений колір.

Коли відро С спустошено, а відро Е заповнене, хоча б частково, пакети забарвлюються у жовтий колір. У періоди, коли обидва відра спустошуються, пакети забарвлюються у червоний колір.

Розглянемо формувач потоку зі змінними швидкостями C_{IR} та E_{IR} (рис. 3). Вони залежать як від швидкості, так і від прискорення інтенсивності потоків і, відповідно, змін швидкості заповнення буферів.

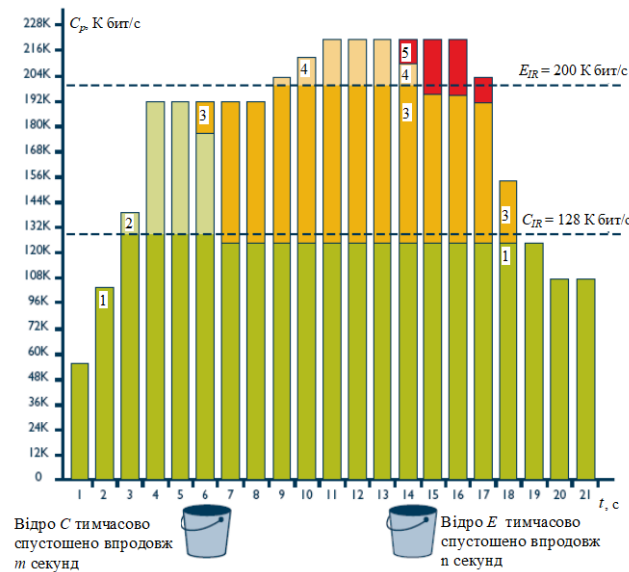


Рис. 2. Графік дворозрядного вимірювання параметрів потоку із триколірним забарвленням пакетів. C_p – пропускна спроможність мережі: 1 – зелені пакети; 2 – пакети з (умовно) зеленим забарвленням, при короточасному перевищенні C_{IR} не більше ніж на m секунд; 3 – жовті пакети, інтенсивність потоку яких вища за C_{IR} , але нижче за E_{IR} ; 4 – пакети з (умовно) жовтим забарвленням, при короточасному перевищенні E_{IR} не більше ніж на n секунд, $n > m$; 5 – червоні пакети

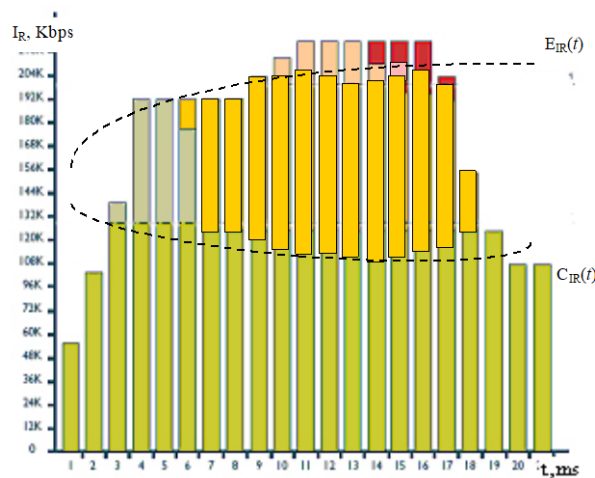


Рис. 3. Вимірювання навантаження та керування специфікацією пакетів з нелінійно змінюваним розміром вікна «жовтого діапазону» швидкості і змінюватимуться в межах, що залежать від максимальної пропускної спроможності комутатора. Тому доцільно адаптуватися до середньої інтенсивності пакетів шляхом зміни швидкостей та управління розміром "діапазону жовтого".

Інтегратор M -го порядку зі змінними ваговими коефіцієнтами:

$$k_1 = k_1(t), k_2 = k_2(t), \dots, k_m = k_m(t),$$

в принципі може оцінювати швидкість, прискорення та вищі ступеня заповнення буфера. Керуючими сигналами $y_{db}(t - \tau)$, $y_{tb}(t - \tau)$, $y_{tg}(t - \tau)$ регулюються сумарний обсяг даних і маркерів у буферах, і навіть частота надходження маркерів.

Параметри цих сигналів визначаються параметрами трафіку, насамперед ступенем його самоподібності [5]. Насправді немає сенсу розраховувати похідні вищого порядку, ніж другий (швидкість і прискорення), оскільки точність статистичного оцінювання швидко погіршується [6].

Функціонал ефективності передачі. Поточна затримка передачі є одним із найважливіших параметрів якості обслуговування. Проблема оп-

тимізації затримки передачі загалом і втрат пакетів за сплесків інтенсивності самоподібного трафіку, є дуже актуальною. Розглянемо компоненти затримки передачі.

Поточна затримка пакета вимірюється як різниця між моментами надсилання t_s та отримання квитанції t_{ack} : $t_{dc} = t_{ack} - t_s$. Введемо наступні позначення:

- Δt_{pd} і σ_{pd} – час доставки та середньоквадратичне відхилення затримки пакетів відповідно;
- Δt_{ack} і σ_{ack} – час та середньоквадратичне відхилення часу очікування квитанції відповідно.

Тоді $t_{dc} = \Delta t_{pd} + \Delta t_{ack}$.

У загальному випадку:

$$\Delta t_{pd} \neq \Delta t_{ack}, \sigma_{pd}^2 \neq \sigma_{ack}^2.$$

Нехай час очікування поточної квитанції (тайм-аут) є t_{to} . Загальна затримка доставки є випадкова величина з середнім t_{dc} та дисперсією $\sigma_{total} = (\sigma_{pd}^2 + \sigma_{ack}^2)^{1/2}$. Для урахування впливу дисперсії часу повного оберту використаємо коефіцієнт варіації $k_{tt} = \sigma_{total} / t_{dc}$.

Крім того, використаємо нормалізований коефіцієнт втрат

$$k_l = \frac{N_{total} - N_{rec}}{N_{total}} = 1 - \frac{N_{total} - N_{rec}}{N_{total}},$$

де N_{total} – загальне число переданих пакетів, N_{rec} – число успішно прийнятих пакетів. Визначимо структуру функціоналу для оптимального вибору величини тайм-ауту.

Для розв'язання задач поточного управління мережами потрібний системний підхід. Критерії оптимізації ключових параметрів функціонування мережі й поточного управління мережею неоднозначні й суперечливі. Урахування цих суперечностей та пошуку компромісних рішень можливі шляхом використання статистичних методів, оцінки достовірності та аналізу даних з погляду фізичного сенсу розв'язуваних завдань. Процеси зміни ключових параметрів, з одного боку, суттєво нестационарні, а з іншого, тенденції їхньої зміни дуже схожі. Тому необхідний опис їхнього стохастичного взаємозв'язку. Це завдання має як теоретичне, а й практичне значення. Як основний метод опису стохастичного взаємозв'язку використовується коефіцієнт множинної кореляції та гребеневої покрокової регресії [10].

Оптимальна величина тайм-ауту є функціонал параметрів t_{dc} , t_{ack} , k_{tt} , і k_l , які можуть бути представлені як компоненти вектору:

$$\mathbf{V}_{to} = \|\Delta t_{pd} \Delta t_{ack} k_{tt} k_l\|^T,$$

(T – символ транспонування):

$$t_{to} = \Psi\left(\|\Delta t_{pd} \Delta t_{ack} k_{tt} k_l\|^T\right)_{\mathbf{V}_{to}} \rightarrow \min, t_{to} \geq t_{dc}. \quad (1)$$

Строго кажучи, ми стикаємося з проблемою векторної оптимізації [11]. Однак ясно, що t_{dc} , t_{ack} , k_{tt} і k_l є взаємно незалежні випадкові величини. Тому можна замінити векторну оптимізацію зваженою скалярною сумою

$$v = a_1 \Delta t_{pd} + a_2 \Delta t_{ack} + a_3 k_{tt} + a_4 k_l,$$

де a_i , $i = \overline{1,4}$ – вагові коефіцієнти, що обираються з практичних міркувань:

$$t_{to} = \Psi\left(a_1 \Delta t_{pd} + a_2 \Delta t_{ack} + a_3 k_{tt} + a_4 k_l\right)_{\mathbf{V}} \rightarrow \min, t_{to} \geq t_{dc} \quad (2)$$

На рис. 4 зображені графіки змін нормалізованого тайм-ауту t_{norm} в залежності від часу повного оберту для різних величин k_{tt} .

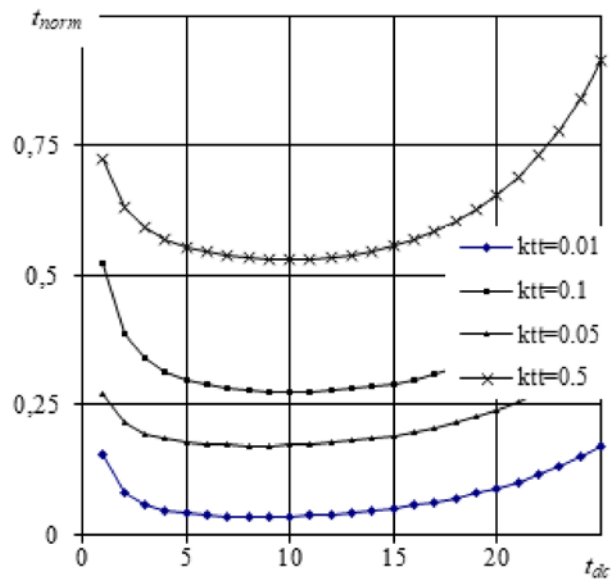


Рис. 4. Варіації нормалізованого тайм-ауту

Аналізуючи результати оптимізації, ми приходимо до висновку, що проблема поточної оптимізації в реальному часі ключових параметрів у незалежному сегменті мережі або мережі в цілому насправді є проблема адаптації [9] або, у широкому сенсі, проблема управління мережею.

Висновки

Запропонована процедура формування трафіку є досить простою та ефективною. Результати моделювання показують, що можна обмежити частоту маркера генератора до такого значення, коли будуть отримані всі вхідні дані, а потім передані без втрат та повторних передач. Вплив

відносної частоти генератора маркерів досить короткий і швидко зменшується. Усунення навантаження досягається за короткий час, тому коливання навантаження є порівняльними малими. Хоча і навантаження, і втрати керованості трафіку можуть бути, якщо тривалість і інтенсивність сплесків перевищує запас динамічної стійкості формувача. Наприклад, якщо основний і додатковий буфери заповнюються протягом більшого часу, ніж допустимий час очікування, цей маршрут або мережний сегмент в цілому стає недоступним. Такі ситуації необхідно обробляти з утилітами транспортного або вищих шарів.

Варіації нормованого тайм-ауту досить гладкими через усереднення часу повного обороту на інтервалі спостереження. Зі збільшенням зміни часу обороту в результаті тайм-аут швидко зростає. Таким чином, постійний контроль параметрів та стану мережі для запобігання затримці доставки та джитеру пакетів є актуальною проблемою.

ЛІТЕРАТУРА

- [1] Віноградов М. А. Аналіз потенціальних характеристик пристроїв комутації та управління мережами нових поколінь. *Зв'язок*. 2004. № 4. С. 10–17.
- [2] Віноградов М. А., Дрововозов В. І., Лесна Н. М., Зембіцька А. С. Аналіз навантаження на мережі передачі даних в системах критичного застосування. *Зв'язок*. 2006. № 1 (61). С. 9–12.
- [3] Kim H.-S., Park E.-C., Neo S. W. A Token-Bucket Based Rate Control Algorithm with Maximum and Minimum Rate Constraints. *IEICE Transactions on Communications*, 91-B (5), 2008. pp. 1623–1626. DOI:10.1093/ietcom/e91-b.5.1623
- [4] Stallings W. Foundations of Modern Networking: SDN, NFV, QoE, IoT, and Cloud. Pearson Education, Inc., Old Tappan, New Jersey, 2016. 538 pp. 2.
- [5] Chang Shu, Nick A. Vinogradov. The Method of Adaptive Shaping of the Traffic Flows of Calculating Networks. *Proceedings the Fourth Congress "Aviation in the XXI Century"*, (Safety in Aviation and Space Technologies), V.1, Kiev, National aviation university, 2010, Sept. 21–23. PP. 18.13–18.16.
- [6] Andriy Skripnichenko. Control of Quality of Service in High-Speed Computer Networks. *Proc. of Int'l Conf. "Computer Science & Information Technologies"* (CSIT'2013), 14–16 Oct. 2013, Lviv, Ukraine. 2 p.
- [7] Afifi A. A., Azen S. P. Statistical Analysis: A computer Oriented Approach. – 2nd ed. Academic Press, New York, San Francisco, London, 1979. 442 p.
- [8] Tanenbaum A., Feamster N., Wetherall D. Computer Networks, Global Edition Pearson, 6th Edition, 2021. 944 p.
- [9] B. Widrow, Adaptive Signal Processing. Bernard Widrow, Peter N. Stearns. Prentice-Hall, Inc. Englewood Cliffs, N.J., 1985. 528 p.
- [10] Saleh E. A. K. Md., Arashi M., Kibria G. B. M. Theory of Ridge Regression Estimation with Applications, Wiley; 1st edition, 2019. 384 p.

Толстікова О. В., Скрипніченко А. А., Водоп'янов С. В., Дрововозов В. І., Рюмшина М. В. БАГАТОШВИДКІСНЕ ФОРМУВАННЯ ПОТОКІВ ДАНИХ У КОМП'ЮТЕРНИХ МЕРЕЖАХ З РІЗНОРІДНИМ САМОПОДІБНИМ ТРАФІКОМ

Розроблено модифікований метод адаптивного формування потоків даних і налаштування системи управління з прямою зворотним зв'язком за результатами поточних вимірювань швидкості заповнення буфера формувача. Проаналізовано математичні моделі телекомунікаційної мережі нового покоління, в тому числі моделей самоподібного трафіку. Розглянута концепція формування трафіку із використанням адаптивного маркерного відра. Для систем без зворотного зв'язку вирішення проблеми вирівнювання швидкості передачі даних може бути вирішено за допомогою алгоритмів «дірявого відра» і «маркерного відра». В алгоритмах «дірявого відра» і «маркерного відра» також можна використовувати зворотний зв'язок. Алгоритм «дірявого відра» представляє собою механізм регулювання трафіку, коли частина потоку пакетів, що перевищує пропускну здатність мережі, просто відкидається або позначається як надлишкова або низько пріоритетна. Розглянуто функціонал ефективності передачі. Поточна затримка передачі є одним із найважливіших параметрів якості обслуговування. Проблема оптимізації затримки передачі загалом і втрат пакетів за сплесків інтенсивності самоподібного трафіку, є актуальною. Оптимальна величина тайм-ауту є функціонал параметрів, які можуть бути представлені як компоненти вектору.

Дано рекомендації щодо вибору параметрів формувача і системи управління (в тому числі необхідний порядок і час реакції системи управління, структури формувачів, вимірювальних пристроїв параметрів пакетів тощо) залежно від інтенсивності потоків даних і зростання інтенсивності, статистичне опису структури мережі. Досліджені характерні властивості процесу формування потоку, які необхідно враховувати при виборі параметрів і структури системи управління багатошвидкісним формувачем трафіку з нелінійними функціями варіації вікон завантаження.

Ключові слова: адаптивна система; швидкість заповнення буфера; формування і регулювання трафіку; маркерне відро; багатошвидкісний формувач.

Tolstikova O., Skrypnychenko A., Vodopianov S., Drovovozov V., Riumshyna M.

MULTI-RATE DATA FLOW SHAPING IN COMPUTER NETWORKS WITH HETEROGENEOUS SELF-SIMILAR TRAFFIC

A modified method of adaptive data flow shaping and control system tuning with direct feedback based on the results of current measurements of the shaper buffer filling rate has been developed. Mathematical models of a new generation telecommunication network, including self-similar traffic models, have been analyzed.

The concept of traffic shaping using an adaptive marker bucket is considered. For systems without feedback, the problem of equalizing the data transmission rate can be solved using the “leaky bucket” and “marker bucket” algorithms. Feedback can also be used in the “leaky bucket” and “marker bucket” algorithms. The “leaky bucket” algorithm is a traffic regulation mechanism when a part of the packet flow exceeding the network bandwidth is simply discarded or marked as redundant or low-priority. The transmission efficiency functional is considered. The current transmission delay is one of the most important parameters of the quality of service. The problem of optimizing the transmission delay in general and packet loss during bursts of self-similar traffic intensity is relevant. The optimal timeout value is a functional of parameters that can be represented as components of a vector.

Recommendations are given for the selection of shaper and control system parameters (including the required order and response time of the control system, shaper structures, packet parameter measuring devices, etc.) depending on the intensity of data flows and the growth of intensity, statistical description of the network structure. The characteristic properties of the flow formation process have been studied, which must be taken into account when choosing the parameters and structure of the control system for a multi-rate traffic shaper with nonlinear loading window variation functions.

Keywords: adaptive system; buffer filling rate; traffic shaping and regulation; marker bucket; multi-rate shaper.

Стаття надійшла до редакції 16.02.2025 р.
Прийнято до друку 16.04.2025 р.