

УДК 621.391:311; 321.39

DOI: 10.31673/2412-9070.2021.012734

Н. М. ЯКИМЧУК, асистент кафедри електроніки та телекомунікацій,
Луцький національний технічний університет

СТАТИСТИЧНІ МОДЕЛІ МЕРЕЖНОГО ТРАФІКУ

Розглянуто питання статистичного моделювання трафіку в телекомунікаційних мережах із комутацією пакетів. Результати моделювання використовуються в процесі розроблення систем керування технічним станом мережі, зокрема діагностика, пошук і усунення відмов та керування конфігурацією мережі. Визначено особливості контролю стану перевантаження окремих мережних сегментів. У разі неналежного контролю, аналізу та моніторингу стан перевантаження може бути помилково прийнятий за відмову обладнання (і навпаки). Тому контроль та усунення перевантажень є задачею статистичного характеру. Розглянуто концепцію наскрізної діагностики мережі, яка передбачає ефективне оцінювання якості функціонування всіх компонентів мережі з огляду на їх взаємозв'язки. Основними є питання взаємодії апаратури, неефективної конфігурації, неправильної організації мережі і роботи користувачів. Проаналізовано способи керування статистичними характеристиками трафіку на основі алгоритмів дірявого відра та маркерного відра. Особливістю цих алгоритмів є формування строгого вихідного потоку зі швидкістю, що не залежить від нерівномірності вхідного потоку.

Показано можливість удосконалення алгоритму маркерного відра через адаптацію до змін статистичних характеристик трафіку. Для розв'язання цієї задачі побудовано статистичні математичні моделі мережного трафіку. Трафік даних, циркулюючий у телекомунікаційних мережах із комутацією пакетів, має самоподібні, або фрактальні, властивості. Самоподібний процес зберігає свої властивості під час розгляду в різному масштабі часу (інваріантність до змін масштабу). Міра статистичної стійкості процесу в разі багаторазового масштабування визначається параметром Херста або параметром самоподібності. Здобуто графіки статистичних характеристик низькошвидкісного та високошвидкісного трафіку даних. Здійснено їх порівняльний аналіз.

Ключові слова: телекомунікаційна мережа; керування; контроль стану мережі; наскрізна діагностика; перевантаження; самоподібний трафік; алгоритми дірявого відра та маркерного відра.

ВСТУП

Актуальність досліджень. Важливою задачею на етапі проектування телекомунікаційних мереж (ТКМ) є забезпечення надійності їх функціонування під час експлуатації, модернізації тощо. Вирішення цієї задачі пов'язане передусім зі створенням системи керування (СК), яка є спеціальною інфраструктурою, що забезпечує організацію взаємодії з компонентами різних автономних сегментів мереж передавання даних [1–4]. Концепція і принципи побудови єдиної системи керування для мереж різних рівнів і масштабів, що надають різні типи послуг, визначено системою TMN (*Telecommunication Management Network* — система керування мережами операторів електрозв'язку) [5; 6]. Основна ідея концепції TMN — забезпечення мережної структури для взаємодії різних типів керуючих пристроїв і телекомунікаційного устаткування, що використовують стандартні протоколи і стеки.

Відповідно до концепції TMN процес керування технічним станом мережі включає в себе такі функції [3; 6–8]:

- діагностику, пошук і усунення відмов (*Fault Management, FM*);
- керування конфігурацією мережі (*Configuration Management, CM*);
- контроль продуктивності мережі (*Performance Management, PM*);
- забезпечення безпеки роботи мережі (*Security Management, SM*).

Основними завданнями керування інформаційними мережами та послугами телекомунікацій є забезпечення їх надійного функціонування, контроль та діагностика поточного стану телекомунікаційної системи та її окремих елементів.

Однією з актуальних задач комплексної діагностики є оптимізація мережного ресурсу, необхідного для розв'язання завдань контролю і діагностики інформаційно-комунікаційних мереж [8; 9].

Аналіз публікацій і досліджень. Найбільш поширеними методами комплексної діагностики є прямі та непрямі методи, зокрема непрямі методи контролю за збуреннями [10]. Непрямі методи комплексної діагностики мереж є більш привабливими [11], оскільки вони не потребують втручання в поточне функціонування мережі та не спричиняють порушення або затримки в її роботі [2; 12]. Проте із застосуванням непрямих методів постає потреба у витраті додаткового мережного ресурсу в процесі обміну даними між мережними вузлами і системою контролю.

Задача діагностики й оцінювання поточного стану ТКМ як складної системи базується на використанні методів ідентифікації [7; 9; 13], існує тісний взаємозв'язок завдань ідентифікації та діагностики. У зазначених публікаціях розглядаються загальні питання ідентифікації об'єктів складних систем без урахування особливостей функціонування ТКМ.

© Н. М. Якимчук, 2021

Особливістю контролю ТКМ у режимі реального функціонування є наявність у ній сигнальної інформації в момент перевірки, що практично не припускає використання стимулюючих сигналів для характеристики її стану. Визначення параметрів та стану телекомунікаційної мережі може бути здійснено такими шляхами [11; 14; 15].

Перший підхід ґрунтується на встановленні оператором динамічних характеристик контрольованого вузла чи елемента телекомунікаційної мережі, відомий як ідентифікація об'єкта. Потрібно оцінити необхідні умови для його вживання та розробити відповідні методи для застосування в даній предметній сфері з побудовою та настроюванням еталонних моделей об'єкта.

Другий підхід пов'язаний з оцінюванням стану об'єкта за збуреннями, що діють, внутрішніми шумами та завадами і місцями їх локалізації. Такий підхід представляє більш теоретичний інтерес. Щоб звести зміни в стані системи до дії внутрішніх і зовнішніх збурень, потрібно мати вичерпну інформацію про параметри та стан системи на досить великому (теоретично — нескінченному) інтервалі спостереження. На практиці можна здобути лише деякі асимптотичні оцінки на кінцевому інтервалі спостереження, але немає ніяких гарантій, що за цей період характеристики системи істотно не зміняться.

Третій підхід засновано на використанні моделі, яка б адекватно відбивала властивості об'єкта, що для телекомунікаційної мережі порівняно великого масштабу є практично нереальним (з тих самих міркувань, що й для другого підходу).

Постановка задачі дослідження. У межах концепції TMN телекомунікаційна мережа розглядається як керована складна технічна система — об'єкт контролю. Оцінювання стану об'єкта контролю здійснюють за таких вихідних даних.

Об'єкт вважається справним, якщо всі його параметри як основні (що характеризують виконання об'єктом своїх функцій), так і другорядні (зручність експлуатації, зовнішній вигляд тощо) відповідають усім висунутим вимогам, тобто всі параметри об'єкта перебувають у заданих межах. Вихід будь-якого параметра з цих меж означає, що об'єкт несправний.

Об'єкт працездатний, якщо його основні параметри знаходяться в межах норми, і при цьому об'єкт задовільно виконує покладені на нього функції. Втрата працездатності називається відмовою.

Загалом кількість станів об'єкта більша двох. Можна говорити про кілька рівнів працездатності, різні категорії відмов тощо. Надалі як основні стани розглядатимемо лише два: «працездатність» («справність») і «відмова» («несправність»). Різновиди несправних станів (миттєва, поступова, плаваюча відмови тощо) так чи інакше зводяться до другого основного стану системи. Водночас треба розрізняти перевантаження і фізичну відмову.

Стан перевантаження окремих мережних вузлів, маршрутів передавання даних, автономних мережних сегментів є вельми важливим станом мережі (комп'ютерної, телекомунікаційної тощо). Цей стан у разі неналежного контролю, аналізу та моніторингу може бути помилково прийнятий за відмову обладнання (і навпаки). Тому контроль та усунення перевантажень є задачею статистичного характеру.

У процесі контролю функціонування порівняно невеликого автономного сегмента мережі навіть за результатами поверхневого огляду можна виявити, які виміряні параметри — завантаження процесора на сервері або у клієнта, скачки утилізації мережі або інші чинники — зумовлюють незадовільний час проходження тієї або іншої транзакції. Якщо проблема не настільки очевидна, може бути потрібним аналіз надто великої кількості різномірних даних, для чого необхідне використання математичного апарату ймовірнісного (кореляційного і регресійного) аналізу [3; 16].

Концепція наскрізної діагностики мережі передбачає ефективне оцінювання якості функціонування всіх компонентів мережі з урахуванням їх взаємозв'язків. При цьому основним є питання взаємодії апаратури, неефективної конфігурації, неправильної організації мережі і роботи користувачів.

Також важливим є питання обмеження вживання лише деяких методик діагностики і моніторингу та ігнорування інших. Тут потрібні системний підхід і методика наскрізної діагностики та керування. Наскрізна діагностика — поетапна діагностика мережі і оптимальний інструментарій для використання на кожному етапі. Наскрізне керування (*end-to-end* керування) — керування мережею в цілому, керування перевантаженнями, керування параметрами трафіку. Дуже перспективним шляхом боротьби з перевантаженнями є саме керування параметрами трафіку (*policing and shaping* — формування та регулювання трафіку), тобто керування статистичними характеристиками трафіку [2; 17–19].

Ефективними алгоритмами керування статистичними характеристиками трафіку є так звані алгоритми дірявого відра та маркерного відра. Алгоритм дірявого відра формує строгий вихідний потік зі швидкістю, що не залежить від нерівномірності вхідного потоку. Для мережних додатків було б краще під час надходження великих пакетів даних обмежувати вихідну швидкість. У такий спосіб можна було б отримати більш гнучкий алгоритм, такий, що бажано, не втрачає дані. Одним із таких алгоритмів є алгоритм маркерного відра.

На відміну від алгоритму дріявого відра [18], алгоритм маркерного відра дає можливість обмежити смугу пропускання каналу і водночас гарантувати деяку швидкість передавання даних (кадрів або пакетів). Оскільки швидкість передавання пакета по каналу завжди дорівнює швидкості передавання бітового потоку по середовищу передавання (або швидкості модуляції), то для обмеження, або, інакше кажучи, зменшення середньої швидкості передавання потрібно збільшити часові інтервали між пакетами. Однак обмеження швидкості зазвичай досягається простим відкиданням деяких пакетів, передавання яких призведе до перевищення узгодженої швидкості. Для вдосконалення алгоритму маркерного відра його можна дещо ускладнити адаптацією до змін статистичних характеристик трафіку, передусім побудувавши статистичні математичні моделі мережного трафіку.

ОСНОВНА ЧАСТИНА

Статистичні моделі мережного трафіку

Як уже було зазначено, у сумарному різномірному трафіку (мова, дані, відео, інші типи) частка мовного трафіку знижується, причому темп цих змін наростає з року в рік. Наприклад, у США і Західній Європі щорічний темп зростання трафіку даних становить до 30% у рік, тоді як збільшення телефонного трафіку — майже 3% [8; 12; 13].

Перерозподіл видів навантаження на телекомунікаційні мережі має такі наслідки.

1. Поява другої моди в розподілі тривалості телефонного з'єднання: якщо для телефонних розмов це 3-5 хв, то для користувача Інтернету — 20-40 хв.

2. Зміна статистичних характеристик трафіку. Для телефонних мереж широко використовуються марковські моделі, потоки Пуассона й Ерланга. Водночас результати досліджень трафіку даних [3; 17; 18] показують, що він має специфічні властивості і не може бути задовільно описаний у межах класичної теорії масового обслуговування.

Показано [3; 20], що трафік даних, який циркулює в цифрових мережах і, зокрема, в мережах із комутацією пакетів, має самоподібні, або фрактальні, властивості. Самоподібність — це властивість процесу зберігати свою поведінку і зовнішні ознаки під час розгляду в різному масштабі. Для часових послідовностей величиною масштабу є час. З огляду на визначення самоподібності можна стверджувати, що часові і спектральні характеристики випадкового процесу (у нашому разі — трафіку) зі зміною масштабу усереднювання описуватимуться одними і тими самими рівняннями, функціями, але з відповідними масштабними коефіцієнтами. Тобто, самоподібність будь-якого процесу (явища) можна трактувати як інваріантність до змін масштабу або розміру [1; 2].

Реальні випадкові процеси зазвичай зберігають властивість самоподібності тільки до певної межі. Ця межа або міра статистичної стійкості процесу в разі багаторазового масштабування визначається параметром Херста або параметром самоподібності. Випадковий процес $x(t)$ є статистично самоподібним із параметром Херста H ($0,5 \leq H \leq 1$), якщо для будь-якого дійсного значення $a > 0$ процес $\frac{x(at)}{a^H}$ має ті самі статистичні характеристики, що і сам процес $x(t)$:

$$\text{математичне сподівання } M[x(t)] = \frac{M[x(at)]}{a^H}; \quad (1)$$

$$\text{дисперсія } D[x(t)] = \frac{D[x(at)]}{a^{2H}}; \quad (2)$$

$$\text{кореляційна функція } R[t, \tau] = \frac{R[at, a\tau]}{a^{2H}}. \quad (3)$$

Чим більше H , тим довше зберігається властивість самоподібності під час багаторазового масштабування. При $H = 0,5$ ця властивість практично відсутня.

Кореляційні функції самоподібних процесів із великим параметром Херста загасають повільніше, ніж у звичайних випадкових процесах, і мають зазвичай коливний характер. Визначено, що спадання постійної складової кореляційної функції відбувається згідно із законом $c_1 t^{-c_2 a}$, де c_1, c_2 — константи, a — параметр масштабу. А отже, і спектральна густина процесу теоретично прагне до нескінченності при частоті, що прагне до нуля [3].

Графіки характеристик трафіку даних, що циркулював між локальною мережею корпорації і глобальною мережею Інтернет протягом 34 год, зображено на рис. 1–3. Обсяг вибірки становить 1 млн відліків, а середньоквадратичне відхилення моментів взяття відліків — майже 10 мкс. Тут за віссю абсцис відкладено часові відліки T , а за віссю ординат — довжини W Ethernet-кадрів. Методики вимірювання й аналізу результатів детально описано в [21; 22].

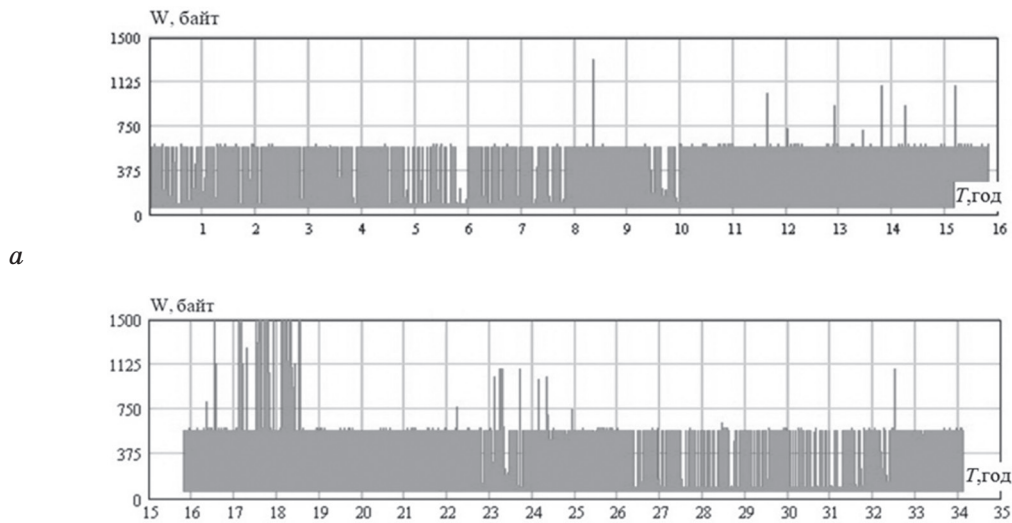


Рис. 1. Приклад реалізації низькошвидкісного трафіку даних.
Залежність довжин кадрів від часу: *a* — перші 16 год; *б* — решта 18 год

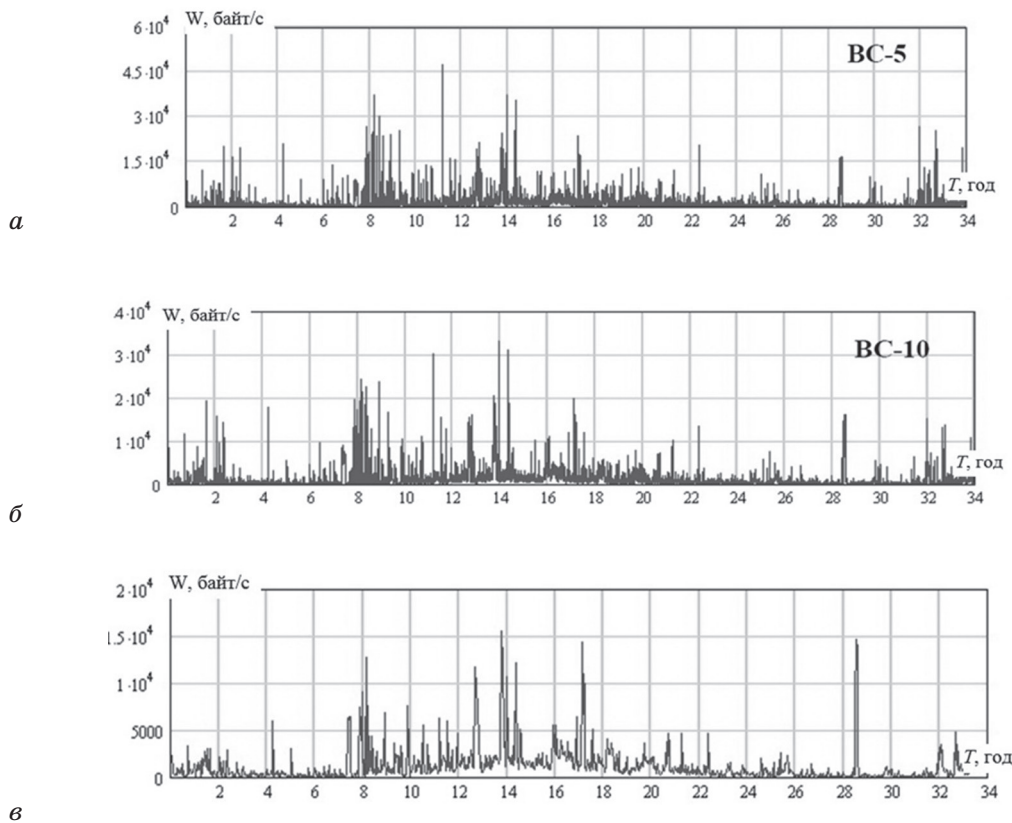


Рис. 2. Усереднені значення довжин кадрів із різними інтервалами усереднення:
a — $\Delta T = 5$ с; *б* — $\Delta T = 10$ с; *в* — $\Delta T = 100$ с

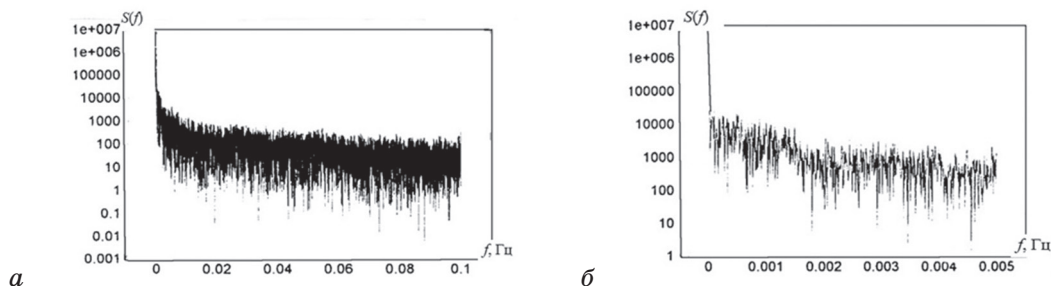


Рис. 3. Спектральна густина усередненої реалізації: *a* — $\Delta T = 5$ с; *б* — $\Delta T = 100$ с

Графіки таких самих характеристик, але для високошвидкісного трафіку обміну даними між локальною обчислювальною мережею науково-дослідної лабораторії і глобальною мережею Інтернет протягом 1 год, узятих з [22], ілюструють рис. 4–6. Обсяг вибірки становить майже 700 тис. відліків, а середньоквадратичне відхилення моментів взяття відліків — близько 1 мкс.

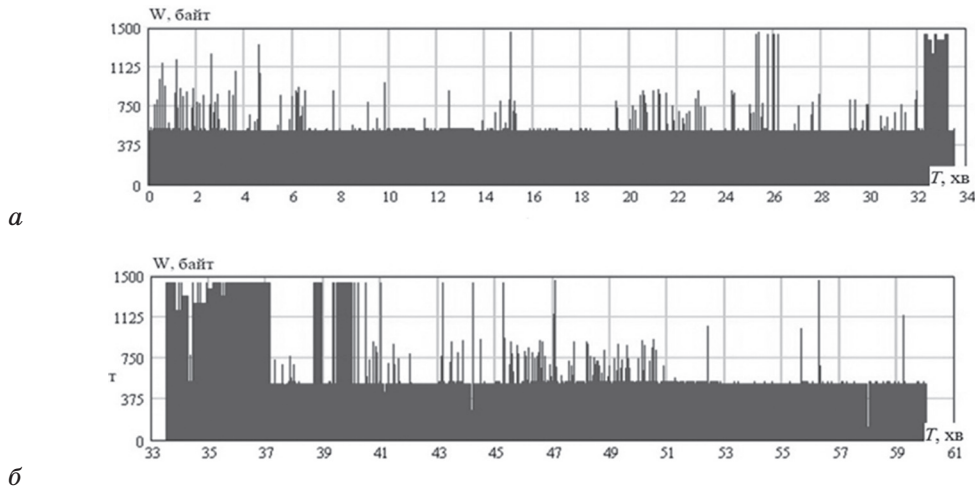


Рис. 4. Приклад реалізації високошвидкісного трафіку даних.
Залежність довжин кадрів від часу: *a* — перші 33 хв; *б* — решта 27 хв

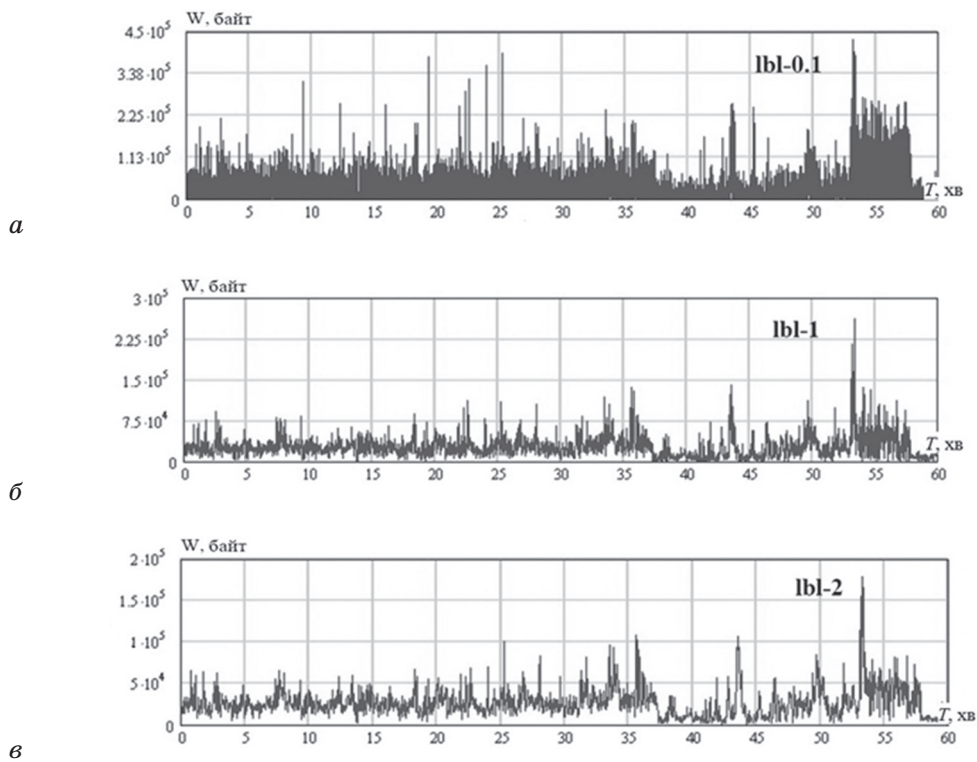


Рис. 5. Усереднені значення довжин кадрів високошвидкісного трафіку з різними інтервалами усереднення:
a — $\Delta T = 0,1$ с; *б* — $\Delta T = 1$ с; *в* — $\Delta T = 2$ с

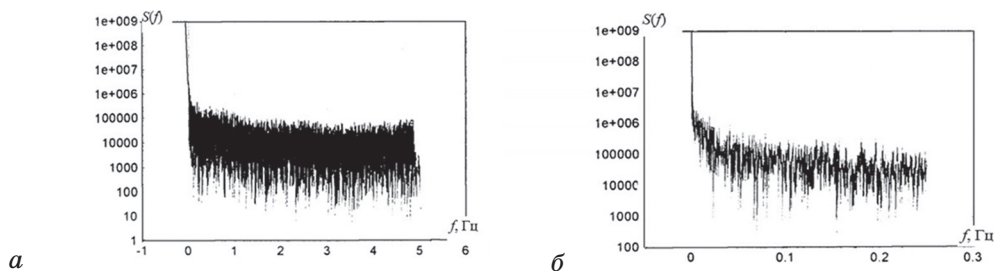


Рис. 6. Спектральна густина усередненої реалізації: *a* — $\Delta T = 0,1$ с; *б* — $\Delta T = 2$ с

Незважаючи на помітні відмінності в початкових даних, закономірності, властиві самоподібним процесам, є наочні в обох випадках. Зокрема, досить яскраво виражений ефект самоподібності під час змін шкали усереднення початкових реалізацій від 2 до 20 разів. Також помітні повільно спадні залежності кореляційних функцій процесів і виражені викиди спектральної густини на нульовій частоті.

Для опису густини ймовірності самоподібних потоків використовують розподіли з «важкими хвостами»: логарифмічно-нормальний, гамма-розподіл, розподіли Вейбулла, Парето. Останній використовується для опису самоподібного трафіку найчастіше [3]. З усіх повільно загасальних розподілів він описується найпростішими математичними формулами. Звичайно, простота не може бути підставою для використання тієї або іншої моделі процесу, тому надалі необхідно буде перевіряти належність вибірок самоподібного процесу до генеральної сукупності з тим або іншим імовірнісним розподілом.

Аналітичні вирази для розподілу Парето мають такий вигляд:

$$\text{густина ймовірності } f(x) = \frac{a}{k} \left(\frac{k}{x} \right)^{\alpha+1}; \quad (4)$$

$$\text{функція ймовірності } F(x) = 1 - \left(\frac{k}{x} \right)^{\alpha}, \quad (x > k; \alpha > 0); \quad (5)$$

$$\text{середнє значення } E[X] = \frac{\alpha}{\alpha-1} k, \quad (k > 1). \quad (6)$$

У виразах (4)–(6) k і α ($k, \alpha < 0$) — параметри розподілу.

Такі специфічні характеристики властиві не тільки трафіку даних (протоколи TCP, FTP), а й сигнальному трафіку (протокол SS7), VBR-відео, Ethernet/ISDN і деяких інших. Фізично вони пояснюються високим ступенем групування пакетів на клієнтських ділянках, у маршрутизаторах і вузлах комутації інфокомунікаційних мереж. Навіть якщо джерело породжує регулярний потік пакетів, дані до споживача надходять серіями, які перемежуються інтервалами простою. Причинами цього є обмежена швидкість роботи мережних пристроїв, недостатній обсяг буферів тощо.

Для самоподібного трафіку результати класичної теорії масового обслуговування потрібно застосовувати з деякими обмеженнями. Методи розрахунку вимог до мереж нових поколінь (пропускній здатності каналів, ємності буферів тощо) засновано на марковських моделях і формулах Ерланга, які з успіхом використовувалися для телефонних мереж, можуть давати невіправдано оптимістичні рішення, призводячи до недооцінки навантаження.

Веручи до уваги пульсуючий характер самоподібного трафіку, загалом потік заявок не можна вважати за простий, оскільки на інтервалі спостереження не виконується умова стаціонарності. Проте, виходячи з логіки надання послуг із гарантованою кризною якістю обслуговування QoS, потрібно вимагати забезпечення якості обслуговування на інтервалі будь-якої тривалості, випадково вибраному із загального сеансу передавання даних. Як на інтервалах із низькою інтенсивністю трафіку, так і на інтервалах, де спостерігаються сплески навантаження, трафік можна з достатньою для практики точністю вважати за локально-стаціонарний. Уся проблема полягає в тому, щоб визначити моменти переходу від одного інтервалу до іншого. Звичайно можна запропонувати алгоритми адаптації до змін навантаження, наприклад з оцінюванням кореляційних властивостей потоку даних, проте навряд чи варто чекати прийнятної точності, а отже, і високої ефективності таких алгоритмів.

ВИСНОВКИ

Самоподібний трафік має особливу структуру, яка зберігається в процесі багаторазового масштабування, — у реалізації зазвичай присутня деяка кількість викидів із відносно невеликим середнім рівнем трафіку. Через такі сплески навантаження характеристики мережі також погіршуються: збільшуються втрати, затримки, джиттер пакетів під час проходження через вузли мережі. Для самоподібного трафіку результати класичної теорії масового обслуговування потрібно застосовувати з деякими обмеженнями.

Сучасні стандарти керування мережами як одна з головних функцій має функцію усунення несправності, що забезпечує можливість виявлення, визначення місця появи перевантаження в комп'ютерній мережі, їх реєстрацію, доведення відповідної інформації до обслуговувального персоналу, видачу рекомендацій щодо усунення перевантажень.

Перерозподіл співвідношення різних видів трафіку призводить до змін його статистичних характеристик, на які потрібно зважати на етапі обґрунтування вимог до апаратури комутації і керування. Гіпотезу самоподібності пакетного трафіку підтверджено теоретично і експериментально, проте дослідження в цьому напрямку далеко не завершено. Наприклад, залишається відкритим питання: чи спра-

ведлива ця гіпотеза на інтервалах, тривалість яких порівнянна з тривалістю інтервалів оцінювання миттєвої пропускну здатності комутаційного вузла.

Основні задачі щодо систем контролю і діагностики телекомунікаційних мереж можна сформулювати так:

- 1) визначення параметрів ТКМ та поточних характеристик мережного трафіку:
 - вибір режиму опитування завантаженості мережних вузлів;
 - узгодження характеристик трафіку з вибраною стратегією його регулювання;
 - забезпечення необхідного рівня адаптивності формувачів трафіку до степенів самоподібності;
- 2) визначення вихідних даних для оптимальної стратегії регулювання трафіку. Вихідними даними для статистичної оптимізації процесів контролю завантаженості і пошуку вузьких місць є простір перевірок, вартість (час) цих перевірок, імовірності збоїв і похибок першого і другого роду, імовірності відмов елементів комп'ютерної мережі через перевантаження.

Наведені висновки і рекомендації базуються на результатах статистичного моделювання мережного трафіку, проведеного в даній роботі.

Список використаної літератури

1. *Stallings W. Foundations of Modern Networking: SDN, NFV, QoE, IoT, and Cloud. Pearson Education, Inc., Old Tappan, New Jersey, 2016. 538 p.*
2. *Tanenbaum A. S., David J. Wetherall. Computer Networks / 5th Ed. Prentice Hall, Cloth, 2011. 960 p.*
3. *Виноградов Н. А., Зембицкая А. С. Анализ и расчет характеристик прохождения трафика данных в конвергированных сетях // Проблемы системного подходу в экономике. 2004. Вып. 9. С. 18–26.*
4. *Микитишин А. Г., Митник М. М., Стухляк П. Д. Телекомунікаційні системи та мережі. Тернопіль: Тернопіл. нац. техн. ун-т імені Івана Пулюя, 2017. 384 с.*
5. *ITU-T M.3010. Principles for a telecommunications management network. 2000.*
6. *ITU-T M.3400. TMN management function. 2000.*
7. *Стеклов В. К., Кільчицький Є. В. Основы керування мережами та послугами телекомунікацій. Київ: Техніка, 2002. 438 с.*
8. *Дымарский Я. С., Крутякова Н. П., Яновский Г. Г. Управление сетями связи: принципы, протоколы, прикладные задачи. Москва: ИТЦ «Мобильные коммуникации», 2003. 384 с.*
9. *Бестугин А. Р., Богданова А. Ф., Стогов Г. В. Контроль и диагностирование телекоммуникационных сетей. Санкт-Петербург: Политехника, 2003. 174 с.*
10. *Торошанко Я. И., Танцюра Л. И., Дёмина Л. А. Ретроспективная идентификация информационных и управляющих сигналов в интеллектуальных сетях связи // Наук. праці ОНАЗ ім. О. С. Попова. 2015. №2. С. 111–115.*
11. *Эйкхофф П. Основы идентификации систем управления. Москва: Мир, 1975. 683 с.*
12. *Бигелу С. Сети: поиск неисправностей, поддержка и восстановление. Санкт-Петербург: БХВ-Петербург, 2005. 1200 с.*
13. *Крук Б. И., Попантонопуло В. Н., Шувалов В. П. Телекоммуникационные системы и сети. Т. 1 – Современные технологии / под ред. проф. В. П. Шувалова. Москва: Горячая линия – Телеком, 2003. 647 с.*
14. *Гельфандбейн Я. А., Колосов Л. В. Ретроспективная идентификация возмущений и помех. Москва: Сов. радио, 1972. 232 с.*
15. *Идентифицируемые модели [Электронный ресурс]. URL: <http://www.sardismusic.com/topics/t5r4part3.html>.*
16. *Уилсон Э. Мониторинг и анализ сетей. Методы выявления неисправностей. Москва: Лори, 2002. 363 с.*
17. *Policing and Shaping Overview // Cisco IOS QoS Solutions Configuration Guide QC-222 [Электронный ресурс]. URL: https://www.cisco.com/c/en/us/td/docs/ios/12_2/qos/configuration/guide/fqos_c/qcfpolsh.pdf.*
18. *Comparing Traffic Policing and Traffic Shaping for Bandwidth Limiting [Электронный ресурс]. URL: <https://www.cisco.com/c/en/us/support/docs/quality-of-service-qos/qos-policing/19645-policevsshape.html>.*
19. *A Service Curve of Hierarchical Token Bucket Queue Discipline on Soft-Ware Defined Networks Based on Deterministic Network Calculus: An Analysis and Simulation / Shuangyin Ren, Quanyou Feng, Yu Wang, Wenhua Dou // J. of Advances in Computer Networks. June 2017. Vol. 5, No. 1. P. 8–12.*
20. *Столлингс В. Современные компьютерные сети. Санкт-Петербург: Питер, 2003. 783 с.*

21. *Internet traffic archive* [Електронний ресурс]. URL:
<http://ita.ee.lbl.gov>.

22. *On the Self-Similar Nature of Ethernet Traffic (Extended Version)* / W. Leland, M. Taqqu, W. Willinger, D. Wilson // *IEEE/ACM Transactions on Networking*. February. 1994. No. 2(1). P. 1–15.

Н. Н. Якимчук

СТАТИСТИЧЕСКИЕ МОДЕЛИ СЕТЕВОГО ТРАФИКА

Рассмотрены вопросы статистического моделирования трафика в телекоммуникационных сетях с коммутацией пакетов. Результаты моделирования используются при разработке систем управления техническим состоянием сети, в частности диагностики, поиск и устранение отказов и управления конфигурацией сети. Определены особенности контроля состояния перегрузки отдельных сетевых сегментов. В случае ненадлежащего контроля, анализа и мониторинга состояние перегрузки может быть ошибочно принято за отказ оборудования (и наоборот). Поэтому контроль и устранение перегрузок является задачей статистического характера. Рассмотрена концепция сквозной диагностики сети, которая предусматривает эффективную оценку качества функционирования всех компонентов сети с учетом их взаимосвязи. Основными являются вопросы взаимодействия аппаратуры, неэффективной конфигурации, неправильной организации сети и работы пользователей. Проанализированы способы управления статистическими характеристиками трафика на основе алгоритмов дырявого ведра и маркерного ведра. Особенностью этих алгоритмов является формирование строгого выходного потока со скоростью, не зависящей от неравномерности входного потока. Показана возможность усовершенствования алгоритма маркерного ведра через адаптацию к изменениям статистических характеристик трафика. Для решения этой задачи построены статистические математические модели сетевого трафика. Трафик данных, циркулирующий в телекоммуникационных сетях с коммутацией пакетов, имеет самоподобные, или фрактальные, свойства. Самоподобный процесс сохраняет свои свойства при рассмотрении в разном масштабе времени (инвариантность к изменениям масштаба). Мера статистической устойчивости процесса в случае многократного масштабирования определяется параметром Херста или параметром самоподобия. Получены графики статистических характеристик низкоскоростного и высокоскоростного трафика данных. Осуществлен их сравнительный анализ.

Ключевые слова: телекоммуникационная сеть; управления; контроль состояния сети; сквозная диагностика; перегрузки; самоподобный трафик; алгоритмы дырявого ведра и маркерного ведра.

N. M. Yakymchuk

STATISTICAL MODELS OF NETWORK TRAFFIC

The article considers the issues of statistical modeling of traffic in telecommunication networks with packet switching. The simulation results are used in the development of network technical condition management systems, in particular, diagnostics, troubleshooting and network configuration management. The peculiarities of congestion control of separate network segments are emphasized. With improper analysis the overload condition can be mistaken for equipment failure. Therefore, control and elimination of congestion is a statistical task. The concept of end-to-end network diagnostics is considered. This concept provides for effective assessment of the quality of functioning of all network components taking into account their interrelationships. The main issues are the interaction of equipment, inefficient configuration, improper network organization and user operation. Methods of traffic statistical control characteristics based on perforated and marker bucket algorithms are analyzed. A feature of these algorithms is the formation of a strict output stream at a rate that does not depend on the non-uniformity of the input stream.

The possibility of improving the token bucket algorithm by adapting to changes in the statistical characteristics of traffic is shown. To solve this problem, statistical mathematical models of network traffic are built. Data traffic circulating in telecommunication networks by packet switching has self-similar (fractal) properties. The self-similar process retains its properties when considered at different time scales (invariance to scale changes). The degree of statistical stability of the process with multiple scaling is determined by the Hirst parameter (the self-similarity parameter). Graphs of statistical characteristics of low-speed and high-speed data traffic are obtained. Their comparative analysis is carried out.

Keywords: telecommunication network; control; network status monitoring; end-to-end diagnostics; overload; self-similar traffic; perforated and marker bucket algorithms.

