О.А. Кліменко¹, Д.О. Пархоменко¹, О.В. Щенякін²¹Харківський національний університет Повітряних Сил ім. І. Кожедуба, Харків²Науково-дослідний центр ракетних військ і артилерії, Суми

МЕТОД ПОБУДОВИ ON/OFF МОДЕЛІ МАГІСТРАЛЬНОГО ТРАФІКА МУЛЬТИСЕРВІСНОЇ МЕРЕЖІ

Щоб відповідати потребам користувачів й забезпечити гарантії надійності та доступності мультисервісних мереж, повинні бути розроблені моделі, які б відображали характеристики реального навантаження мультисервісної мережі. Статистичні характеристики ON/OFF процесу найбільш повно узгоджуються зі статистичними характеристиками деяких реалізацій телекомунікаційного трафіка, за тим виключенням, що в моделі більше виражена вагомість хвоста щільності розподілу й показник Херста приймає значення близьке до одиниці. Запропонована модель особливо зручна для моделювання процесів у телекомунікаційних мережах з відомою кількістю джерел і дозволяє прогнозувати розподіл навантаження в інтегрованих інформаційних потоках.

Ключові слова: мультисервісна мережа, ON/OFF модель трафіку, мультифрактал, фрактал, броунівський рух, трафік, коефіцієнт кореляції.

Вступ

Постановка проблеми. Лавиноподібне зростання трафіку негативно позначається на наданні послуг інформаційно-телекомунікаційної мережі, особливо таких, які вимагають роботи в реальному масштабі часу та в довіреному середовищі, тому розробці ефективних шляхів розвитку та вдосконалення архітектури мереж та систем телекомунікацій останнім часом стали приділяти особливу увагу. Крім того, в результаті еволюційних процесів, що відбуваються в системах зв'язку, виникають нові способи колективної комунікації, розширюється спектр послуг, що надаються, змінюються підходи до побудови мереж. Водночас жорсткі вимоги забезпечення якості обслуговування (QoS, QoE) на належному рівні та ефективного використання наявних ресурсів лише поглиблюють існуючі проблеми лавиноподібного збільшення трафіку та його суттєвих структурних змін. Основним ефективним способом зниження трафіку та його негативного впливу на послуги визнані способи управління трафіком. Саме тому завдання розробки моделі, яка відображає характеристики реального навантаження мультисервісної мережі, є актуальним.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Як показують експериментальні дані, властивості магістрального трафіку мультисервісної мережі досить складно інтерпретувати за допомогою методів статистичного аналізу [3–4]. Це ускладнює розробку нових методів адаптивного керування трафіком та вимагає розробки конструктивних математичних моделей мережних процесів, що враховують особливості, які є істотними для цілей дослідження [5–7]. Що можливо при використанні в моделях мультисервісних мереж фрактальних методів аналізу [8–10].

Мета статті – розробка методу побудови ON/OFF моделі магістрального трафіку мультисервісної мережі.

Виклад основного матеріалу

Традиційна ON/OFF модель формує процес, який є процесом приросту фрактального броунівського руху. ON/OFF модель широко використовується для моделювання джерел, які періодично генерують повідомлення [10]. У моделі ON/OFF джерело може перебувати в одному із двох можливих станів: або ON, або OFF. Період ON відповідає періоду, коли джерело перебуває в стані активної передачі, тоді як період OFF відповідає періоду, коли джерело перебуває в стані очікування.

Нехай в системі масового обслуговування є незалежні ON/OFF джерела $2 \leq r < \infty$ різних типів. Кожне джерело генерує пакети з постійною швидкістю $u > 1$ на протязі свого ON періоду, на протязі OFF періоду $u = 0$. Іншими словами, це процес відновлення, породжений чергуванням ON/OFF періодів.

Методика імітаційного моделювання трафіка в магістральній мережі складається з наступних етапів:

1) Розробка схеми моделювання на основі експериментальних і теоретичних даних з використанням програмних засобів.

2) Формування параметрів каналу, що є вузким місцем:

– визначення вихідних даних і допущень (пропускна здатність каналу, інтенсивність процесу моделюючого трафіка із фрактальними властивостями, вибір тестових процесів);

– вибір елементів для моделювання процесів розподілу доступних ресурсів і керування вікном перевантаження.

3) Генерування процесу, адекватного трафіку, що володіє фрактальними властивостями.

Прийняті допущення:

- розглянута ділянка мережі є критичною з погляду обмеженої пропускної здатності;
- на вхід елемента схеми, що імітує активний мережний пристрій (маршрутизатор), надходить процес, що володіє фрактальними властивостями;
- у якості розподілених ресурсів розглядається загальна пропускна здатність процесора мережного пристрою, буфер і пропускна здатність каналу зв'язку;
- доступна пропускна здатність розподіляється між всіма вхідними процесами;
- моменти активності джерел трафіка встановлюються за допомогою фазового зсуву, причому перехідний процес не враховується;
- для простоти реалізації й подальших розрахунків замість часової осі використовуються відрізочки, еквівалентні часовим;
- кількість джерел при генерації фрактального процесу не менш 35, що обумовлено залежністю властивостей фрактальності від кількості джерел трафіка;
- той факт, що одне джерело може також генерувати фрактальний трафік (наприклад, стисле відео), не враховується.

Рис. 1. а) графік вихідного процесу, формованого ON/OFF моделлю;

б) графік процесу, агрегованого з $m = 50$

Джерело: розроблено авторами.

Як видно з рис. 1, згладжування процесу відбувається повільно, що дозволяє зробити висновок про масштабну інваріантність властиву отриманим процесам. Розглянемо щільності розподілу процесів, отриманих при моделюванні (рис. 2). Як видно із графіків, закон розподілу для даного процесу близький до нормального й незначно змінюється при збільшенні інтервалу агрегування.

Проаналізуємо тепер отримані в ході моделювання статистичні характеристики однієї з реалізацій об'єднаної ON/OFF моделі (рис. 3).

Для підтвердження достовірності методів оцінки характеристик моделюємих трафікових процесів, що використовуються у роботі, за допомогою цих методів були досліджені процеси зі свідомо відомими статистичними характеристиками. Як тестовий процес використовувався процес, отриманий на основі об'єднання найпростіших пуассонівських потоків.

У середовищі Matlab була розроблена схема моделювання процесу, який характеризує зміни швидкості передачі, заснованого на зворотному зв'язку між джерелом і адресатом У схемі передбачено об'єднання процесів багатьох окремих джерел. Розглянемо порядок визначення параметрів трафікових процесів. На рис. 1 представлена ON/OFF модель трафіку. Відповідні профілі інтенсивності розглядаються на мнимій часовій осі, де кількість відрізочків k еквівалентна інтервалу часу рівному 100 мс. Кожен отриманий процес агрегується зі значенням інтервалу $m = 1, 10, 100, \text{ і } 200$ мс. У результаті виходить новий масштаб відрізочків k_a . Оскільки ми оговорили, що замість часу оперуємо відрізочками, то помилку агрегування можна не враховувати й процедуру агрегування можна звести до усереднення.

На рис. 4 зображені гістограми для описаних вище процесів. Характер розподілу вказує на те, що він не є експонентним, а при логарифмуванні прагне до нормалізації. За графіком АКФ можна говорити про її довгострокову залежність. При збільшенні інтервалу агрегування статистичні характеристики практично незмінні. Це також підтверджує властивості фрактальності, які властиві моделі, а зокрема, і про масштабну інваріантність статистичних характеристик аж до другого порядку.

Рис. 2. а) гістограма вихідного процесу ON/OFF моделі;
б) гістограма процесу, агрегованого з $m = 50$
Джерело: розроблено авторами.

Рис. 3. Процеси формовані ON/OFF моделлю:
а) у реальному масштабі; б) процес, агрегований з $m = 50$
Джерело: розроблено авторами.

Рис. 4. Гістограми процесу формованого ON/OFF моделлю:
а) у реальному масштабі; б) при агрегуванні з $m = 50$
Джерело: розроблено авторами.

На основі аналізу графіка зміни дисперсії (рис. 5) у логарифмічному масштабі було встановлено, що параметр Херста для ON/OFF моделі приймає значення $H = 0.97$, що добре узгоджується з методом оцінки, проведеним раніше.

Проаналізуємо дані обчислень статистичних характеристик процесу, що генерується, наведені в табл. 1. Як видно, при незмінних середніх для різних рівнів агрегування дисперсія має довгостроковий

характер убуття.

Значення показника Херста, які були оцінені відповідно до описаного методу, оснований на аналізі логарифмічного графіка автокореляційної функції, практично рівнозначні для всіх значень інтервалу агрегування й лежать у межах $0.5 < H < 1$, що характеризує часові ряди, що описують зміну навантаження в досліджуваних реалізаціях, як фрактальні.

Рис. 5. Графік зміни дисперсії ON/OFF моделі в залежності від інтервалу агрегування m
Джерело: розроблено авторами.

Статистичні характеристики ON/OFF процесу найбільше повно узгоджуються зі статистичними характеристиками деяких реалізацій телекомунікаційного трафіка, за тим виключенням, що в моделі більше виражена вагомість хвоста щільності розподілу й показник Херста приймає значення близьке до одиниці. Запропонована модель особливо зручна для моделювання процесів у телекомунікаційних мережах з відомою кількістю джерел і дозволяє прогнозувати розподіл навантаження в інтегрованих інформаційних потоках.

Висновки

Щоб відповідати потребам користувачів й забезпечити гарантії надійності та доступності інформаційно-телекомунікаційній мережі, потрібні моделі, що відображають характеристики реального навантаження мережі. Сучасні дослідження виявили, що телекомунікаційному трафіку властива самоподібність, тому у роботі розглянуто методи моделювання фрактального магістрального мережного трафіка.

Проаналізовано ON/OFF-модель магістрального трафіка мультисервісної мережі. На основі існуючої ON-OFF моделі, що враховує періоди активності та пасивності джерел, була розроблена удосконалена ON-OFF модель магістрального трафіка мультисервісної мережі, що дозволяє врахувати ієрархічну структуру ON-періодів активності, а саме групу передачу пакетів в період активності кожного окремого джерела: ON-період активності розбивається на менші ON й OFF періоди для обліку впливу більш низьких рівнів протоколу передачі даних. Напрямком подальших досліджень є розробка методу маршрутизації магістрального трафіка та методу формування оптимальної смуги пропускання мультисервісних мереж.

Список літератури

1. Sobieraj M., Stasiak M., Weissenberg J. Analytical model of the single threshold mechanism with hysteresis for multi-service networks. *IEICE Transactions on Communications*. 2012. No. 1. P. 120-132.
2. Kuchuk G., Kovalenko A., Komari I. E., Svyrydov A., Kharchenko V. Improving Big Data Centers Energy Efficiency: Traffic Based Model and Method. *Green IT Engineering: Social, Business and Industrial Applications. Studies in Systems, Decision and Control*. Vol. 171. Springer, 2019. https://doi.org/10.1007/978-3-030-00253-4_8.
3. Кучук Н. Г., Мерлак В. Ю., Скороделов В. В. Метод зменшення часу доступу до слабкоструктурованих даних. *Сучасні інформаційні системи*. 2020. № 1(4). С. 97-102. <https://doi.org/10.20998/2522-9052.2020.1.14>.
4. Kuchuk N., Mozhaiev O., Mozhaiev M., Kuchuk H. Method for calculating of R-learning traffic peakedness. *2017 4th International Scientific-Practical Conference Problems of Infocommunications Science and Technology*, 2017. P. 359-362. <https://doi.org/10.1109/INFOCOMMST.2017.8246416>.
5. 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. <https://doi.org/10.20998/2522-9052.2018.1.04>.
6. Свиридов А. С., Коваленко А. А., Кучук Г. А. Метод перерозподілу пропускну здатності критичної ділянки мережі на основі удосконалення ON/OFF-моделі трафіку. *Сучасні інформаційні системи*. 2018. Т. 2. № 2. С. 139-144. <https://doi.org/10.20998/2522-9052.2018.2.24>.
7. Donets V., Kuchuk N., Shmatkov S. Development of software of e-learning information system synthesis modeling process. *Сучасні інформаційні системи*. 2018. Т. 2. № 2. С. 117-121. <https://doi.org/10.20998/2522-9052.2018.2.20>.
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. <https://doi.org/10.20998/2522-9052.2018.3.10>.
9. Кучук Н. Г., Гавриленко С. Ю., Лукова-Чуйко Н. В., Собчук В. В. Перерозподіл інформаційних потоків у гіперконвергентній системі. *Сучасні інформаційні системи*. 2019. Т. 3. № 2. С. 116-121. <https://doi.org/10.20998/2522-9052.2019.2.20>.
10. Несміян О. Ю., Кліменко О. А. Метод побудови ON-OFF моделі магістрального трафіка мультисервісної мережі. *XV наукова конференція курсантів та студентів Харківського національного університету Повітряних Сил ім. Івана Кожедуба*. м. Харків, 21-23 трав. 2019 р. Харків : ХНУПС, 2019. С. 80.

Надійшла до редколегії 04.10.2021
Схвалена до друку 16.11.2021

Відомості про авторів:

Кліменко Олександра Анатоліївна
курсант
Харківського національного університету
Повітряних Сил ім. І. Кожедуба,
Харків, Україна
<https://orcid.org/0000-0003-1886-4731>

Пархоменко Данило Олексійович
кандидат технічних наук
старший викладач
Харківського національного університету
Повітряних Сил ім. І. Кожедуба,
Харків, Україна
<https://orcid.org/0000-0002-2254-7248>

Щенякін Олег Володимирович
провідний науковий співробітник
науково-дослідного відділу
Науково-дослідного центру ракетних військ і артилерії,
Суми, Україна
<https://orcid.org/0000-0002-6362-5345>

Information about the authors:

Oleksandra Klimenko
Cadet
of Ivan Kozhedub Kharkiv
National Air Force University,
Kharkiv, Ukraine
<https://orcid.org/0000-0003-1886-4731>

Danylo Parkhomenko
PhD in Engineering
Senior Lecturer
of Ivan Kozhedub Kharkiv
National Air Force University,
Kharkiv, Ukraine
<https://orcid.org/0000-0002-2254-7248>

Oleh Shcheniakin
Leading Researcher
of Scientific Research Department
of Research Center for Missile Forces and Artillery,
Sumy, Ukraine
<https://orcid.org/0000-0002-6362-5345>

МЕТОД ПОСТРОЕНИЯ ON/OFF МОДЕЛИ МАГИСТРАЛЬНОГО ТРАФИКА МУЛЬТИСЕРВИСНОЙ СЕТИ

А.А. Клименко, Д.А. Пархоменко, О.В. Щенякин

Чтобы соответствовать потребностям пользователей и обеспечить гарантии надежности и доступности мультисервисных сетей, должны быть разработаны модели, отражающие характеристики реальной нагрузки мультисервисной сети. Статистические характеристики процесса наиболее полно согласуются со статистическими характеристиками некоторых реализаций телекоммуникационного трафика, за тем исключением, что у модели более выражена тяжесть хвоста плотности распределения и показатель Херста принимает значение близкое к единице. Предлагаемая модель особенно удобна для моделирования процессов в телекоммуникационных сетях с известным количеством источников и позволяет прогнозировать распределение нагрузки в интегрированных информационных потоках.

Ключевые слова: мультисервисная сеть, ON/OFF модель трафика, мультифрактал, фрактал, броуновское движение, трафик, коэффициент корреляции.

METHOD OF CONSTRUCTING ON / OFF MODEL OF MULTISERVICE NETWORK TRAFFIC

O. Klimenko, D. Parkhomenko, O. Shcheniakin

The avalanche growth of traffic negatively affects the provision of services, especially those that require work in real time and in a trusted environment, therefore, the development of effective ways to develop and improve the architecture of telecommunications networks and systems has recently begun to receive increased attention. In addition, as a result of the evolutionary processes taking place in communication systems, new methods of collective communication appear, the range of services provided is expanding, and the approaches to building networks are changing. At the same time, stringent requirements for ensuring quality of service at the proper level and efficient use of available resources only deepen the existing problems of an avalanche-like increase in traffic and its significant structural changes. Traffic management methods are recognized as the main effective way to reduce traffic and its negative impact on the services provided. Among the published works, one can find both those devoted to the general principles of networking, and directly to the methods of spreading information messages through the network structure: algorithms for traffic classification, methods of adaptive traffic management, predictive traffic intensity control, load balancing, traffic engineering, methods of structuring the information communication environment according to various characteristics, methods of forced scheduling or prohibition to work in the network. To meet the needs of users and provide guarantees of reliability and availability of multiservice networks, models must be developed that reflect the characteristics of the real load of the multiservice network. The statistical characteristics of the ON/OFF process are most consistent with the statistical characteristics of some implementations of telecommunication traffic, with the exception that the model has a more pronounced tail of the distribution density and the Hurst exponent takes on a value close to one. The proposed model is especially convenient for modeling processes in telecommunication networks with a known number of sources and allows predicting the load distribution in integrated information flows.

Keywords: multiservice network, ON/OFF traffic model, multifractal, fractal, Brownian motion, traffic, correlation coefficient.