

ІНФОРМАЦІЙНІ ТЕХНОЛОГІЇ

УДК 004.94

DOI: [https://doi.org/10.32515/2664-262X.2019.1\(32\).173-183](https://doi.org/10.32515/2664-262X.2019.1(32).173-183)

Г.М Дреєва, викл., О.А. Смірнов, проф., д-р техн. наук, О.М. Дреєв, канд. техн. наук
Центральнoукраїнський національний технічний університет, Кропивницький, Україна
e-mail: gannadreeva@gmail.com, dr.SmirnovOA@gmail.com, drey.sanya@gmail.com

Метод генерування фрактальноподібної числової послідовності на основі скінченного автомату для моделювання трафіку у мережі

У даній роботі розглядається проблематика представлення трафіку, для моделювання його поведінки при навантаженні комп'ютерних мереж. Визначено що трафік в комп'ютерних мережах на певних масштабах є фракталоподібним і при цьому класичні закони розрахунку параметрів системи масового обслуговування дають хибні результати. Предметом вивчення у статті є метод генерування фрактальноподібної числової послідовності на основі скінченного автомату для моделювання трафіку у мережі. Метою роботи є створення генератора фрактальних бінарних послідовностей на основі скінченного автомату та використання методу генерування фрактальноподібної числової послідовності на основі скінченного автомату для моделювання трафіку у мережі. Для цього у роботі були вирішені наступні задачі: побудований фрактальноподібний трафік шляхом використання запропонованого генератора випадкових чисел, визначені його недоліки; визначено місце генератора фрактального трафіку в системах імітаційного моделювання; здійснено генерування фрактальноподібної числової послідовності на основі скінченного автомату; оцінено статистичні властивості часткових сум генерованих послідовностей. Результатом роботи є реалізація методу генерування фрактальноподібної числової послідовності на основі скінченного автомату для моделювання трафіку у мережі. Висновки: показано актуальність задачі створення генераторів фрактальних бінарних послідовностей без використання нескінченних розподілів; запропоновано використати генератор фрактальної бінарної послідовності на основі скінченного автомату; показано можливість попереднього визначення фрактальної розмірності генерованого трафіку при інтенсивності $\lambda=0.5$. Визначені подальші напрямки досліджень, які полягають у розв'язанні наступних задач: провести аналітичні оцінки показника Херста генерованої бінарної послідовності при інтенсивності трафіку $\lambda=0.5$; показати варіативність фрактальної розмірності бінарної послідовності й при інших інтенсивностях λ ; вивести аналітичні вирази для отримання параметрів генератора з заданою густиною вихідних бітів з керуванням їх фрактальної розмірності; покращити аналітичні оцінки та їх узагальненням на довільну інтенсивність генерованого трафіку.

генератор фрактальної двійкової послідовності, трафік, комп'ютерні мережі

А.Н Дреєва, препод., А.А.Смирнов, проф., докт. техн. наук, А.Н. Дреєв, канд. техн. наук
Центральнoукраїнський національний технічний університет, г. Кропивницький, Україна

Метод генерирования фрактальноподобной числовой последовательности на основе конечного автомата для моделирования трафика в сети

В данной работе рассматривается проблематика представления трафика, для моделирования его поведения при нагрузке компьютерных сетей. Определено, что трафик в компьютерных сетях при определенных масштабах является фракталоподобным и при этом классические законы расчета параметров системы массового обслуживания дают ложные результаты. Предметом исследования в статье является метод генерирования фракталоподобной числовой последовательности на основе конечного автомата для моделирования трафика в сети. Целью работы является создание генератора фрактальных бинарных последовательностей на основе конечного автомата и использования метода генерирования фракталоподобной числовой последовательности на основе конечного автомата для

© Г.М Дреєва, О.А. Смірнов, О.М. Дреєв, 2019

моделирования трафика в сети. Для этого в работе были решены следующие задачи: построен фракталоподобный трафик путем использования предложенного генератора случайных чисел, определены его недостатки; определено место генератора фрактального трафика в системах имитационного моделирования; осуществлено генерирование фракталоподобной числовой последовательности на основе конечного автомата; оценены статистические свойства частичных сумм генерируемых последовательностей. Результатом работы является реализация метода генерирования фракталоподобной числовой последовательности на основе конечного автомата для моделирования трафика в сети. Выводы: показана актуальность задачи создания генераторов фрактальных бинарных последовательностей без использования бесконечных распределений; предложено использовать генератор фрактальной бинарной последовательности на основе конечного автомата; показана возможность предварительного определения фрактальной размерности генерируемого трафика при интенсивности $\lambda = 0.5$. Определены дальнейшие направления исследований, которые заключаются в решении следующих задач: провести аналитические оценки показателя Херста генерируемой бинарной последовательности при интенсивности трафика $\lambda = 0.5$; показать вариативность фрактальной размерности бинарной последовательности и при других интенсивности λ ; вывести аналитические выражения для получения параметров генератора с заданной плотностью выходных бит с управлением их фрактальной размерности; улучшить аналитические оценки и их обобщение на произвольную интенсивность генерируемого трафика.

генератор фрактальной двоичной последовательности, трафик, компьютерные сети

Постановка проблеми. Багато комп'ютерних систем представлені математичними моделями у вигляді систем масового обслуговування. Це є актуальним при розробки систем забезпечення обміну інформацією в комп'ютерних та телекомунікаційних мережах. Доведено, що трафік в комп'ютерних мережах на певних масштабах є фракталоподібним і при цьому класичні закони розрахунку параметрів системи масового обслуговування дають хибні результати. Найбільш надійними засобами розрахунку параметрів системи масового обслуговування з фрактальним трафіком на сьогодні є результати імітаційного моделювання, бо переважна більшість фрактальних джерел трафіку не піддаються аналітичному розв'язанню. Тому для проведення чисельних експериментів з імітуванням необхідно мати генератори фракталоподібного трафіку.

Вже традиційно для отримання фракталоподібного трафіку на сьогоднішній день використовують випадкові числа, які генеруються за законами розподілу з "важким хвостом". Розподіли з "важким хвостом" мають повільно спадаючий характер розподілу густини ймовірності, що призводить до нескінченного значення дисперсії розподілу, коли математичне сподівання має конкретне значення; іноді використовуються моделі в яких математичне сподівання теж прямує до нескінченності. На жаль, математичні абстракції та узагальнення, які полегшують математичні перетворення або взагалі роблять їх можливими, мають межі практичного використання.

Яскравим прикладом зловживання нескінченно малими величинами при використанні інтегрально-диференціального обчислення можна знайти в фізиці матеріалів: застосування інтегралу для рахування енергії напруження матеріалу тріщин призводить до виникнення нескінченності в напруженості матеріалу в точці росту тріщини (рис. 1). Фізично таке не є можливим, причиною цього є порушення закону Юнга при значних деформаціях та дискретна природа речовин – речовина складається з дискретних часток і інтегральне числення є по факту наближенням до реальності і використовується лише з причин математичного спрощення моделі фізичних процесів [1].

Відповідно до трафіку в комп'ютерній мережі, вузол зв'язку не може отримати нескінченно великий запит на обслуговування з причини обмеження швидкості передачі по лініям зв'язку. Обмеження генерованого запиту в процесах імітаційного моделювання систем масового обслуговування проводиться штучно, але це порушує

теоретичні властивості фрактальності трафіку, тому результати моделювання не можуть вважатися надійними. За зазначеними проблемами з використанням розподілів з “важким хвостом” в роботі пропонується використовувати генератор фрактального трафіку на основі графу скінченного автомату.

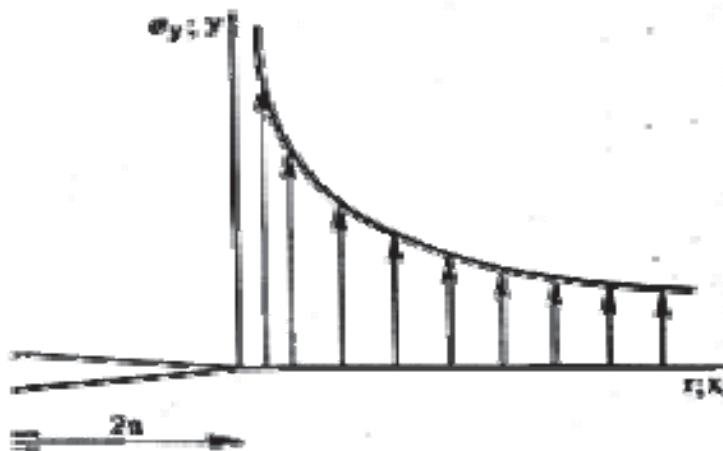


Рисунок 1 – Графік модуля напруженості біля точки росту тріщини

Джерело: [1]

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Проведений аналіз публікацій [1-20] показав актуальність питання моделювання трафіку у комп’ютерних мережах. Зокрема, в [2] була проведена оцінка часу затримки пакетів в умовах зв’язку при обслуговуванні трафіку складної структури на основі розробленої імітаційної моделі. В якості критерію складності структури трафіку використовуються коефіцієнт варіації інтервалу часу між черговими пакетами. В якості моделей трафаретних конструкцій використовуються потоки, які мають Парето- і гіперекспоненційне розподілення широкого діапазону змін їхніх вхідних параметрів і рівня завантаження вузлового обладнання мережі зв’язку. В [3] проаналізовані сучасні методи моделювання мережевого трафіку. Показано, що створення універсальної імітаційної моделі (УІМ) з їх допомогою проблемне з причини великого обсягу дослідницької роботи, необхідної для адаптації приватних моделей до всього різноманіття характеристик різних джерел мережевого навантаження і конфігурації мережі. Запропоновано застосування контекстних методів для побудови УІМ. В якості основи для побудови УІМ обраний метод динамічного марковського моделювання (ДММ). Проведена адаптація методу ДММ для УІМ і розроблена методика його застосування. У роботі [4] сформульована математична модель мультисервісного каналу зв’язку на основі експоненційної GERT-мережі. У працях [5-16] розглянуті питання генерації фрактального трафіку. У роботах [17-19] пропонується метод агрегування фрактального трафіку телекомунікаційних мереж, його прогнозування та аналіз. У роботі [20] Представлені результати вибору оптимальної часової шкали при апроксимації максимуму черзі для трафікового процесу, описуваного фрактальним броунівським рухом. Доведено ряд тверджень, що дозволяють провести аналіз обраних метрик точності, доведено оптимальність на обраній метриці експоненційних часових шкал. Досліджено асимптотичні характеристики побудованих експоненційних тимчасових шкал, показані переваги і недоліки запропонованого підходу при аналізі трафіку з довготривалою залежністю, доведена застосовність підходу для будь-якого кінцевого порога черзі. Виходячи з аналізу останніх досліджень і публікацій можливо зробити висновок, що питання

моделювання трафіку та використання для цих цілей генераторів фракталоподібних послідовностей є актуальним. Відкритими є питання створення генератора фрактальних бінарних послідовностей на основі скінченного автомату.

Постановка завдання. Таким чином, метою даної роботи є створення генератора фрактальних бінарних послідовностей на основі скінченного автомату та використання методу генерування фракталоподібної числової послідовності на основі скінченного автомату для моделювання трафіку у мережі.

Виклад основного матеріалу.

Місце генератора фрактального трафіку в системах імітаційного моделювання. Нехай проводиться вивчення поведінки маршрутизатору в телекомунікаційній комп'ютерній мережі, який має N рівнозначних каналів з підключеними клієнтами, має можливість перенаправити M пакетів за одиницю часу та містить загальний внутрішній буфер-чергу на K пакетів (рис. 2).

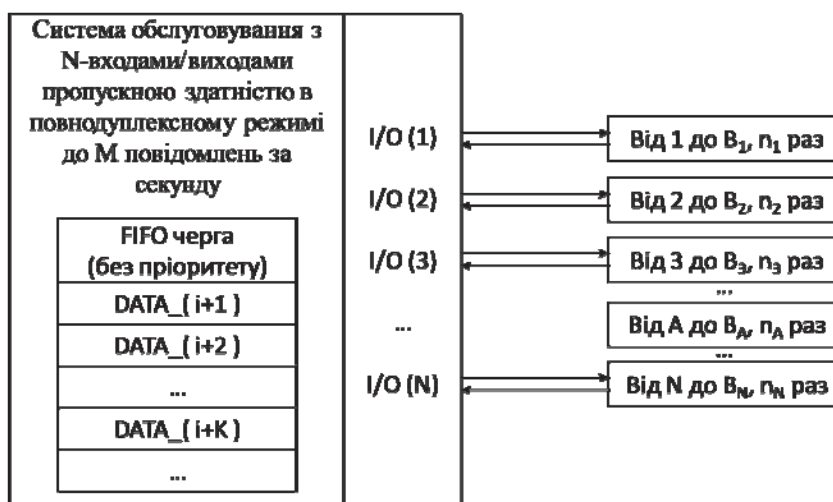


Рисунок 2 – Структурна схема процесу імітаційного моделювання

Джерело: [4]

Тоді клієнти, які під'єднані до ліній входу/виходу (I/O на схемі), є генераторами фрактального трафіку та споживачами цього трафіку. Кожен клієнт генерує фракталоподібний трафік, але й зміна адреси посилання повинна змінюватися фрактально. Для забезпечення роботи описаної схеми потрібно мати генератор фракталоподібного трафіку з можливістю регулювання інтенсивності запитів та їх фрактальної розмірності. Під час проведення імітації, кожен клієнт генерує з вказаною ймовірністю наявність пакету даних а також генерує випадкового отримувача пакету даних. Вибір отримувача пакету теж повинне мати фрактальну природу (для завантаження великого об'єму інформації звернення до одного й того джерела є високою ймовірним, а при проведенні сканування мережі – запити гарантовано будуть переходити по клієнтам по черзі). Проблема генерування фракталоподібного трафіку розв'язується генераторами на основі розподілу Парето, проте обрання отримувача пакету проводиться за допомогою простого рівномірного розподілу для відомих авторам системам імітації. Причиною цього є незастосовність розподілу Парето для імітування обрання отримувача інформаційного пакету.

Процес моделювання проводиться за програмними "квантами часу", коли відбувається передача одного пакету фіксованої величини та обробка фіксованої кількості пакетів з черги. Якщо кілька пакетів претендують на перехід до одного й того

ж приймача, то надсилається лише той, що перший надійшов до системи. При переповненій черзі можна використовувати два варіанти: скидати “старі” пакети з черги, або блокувати приймання нових пакетів з джерел трафіку.

В процесі виконання моделювання заплановано порівняння теоретичних передбачень з експериментально визначеними величинами як для максимально повного так і для усіченого розподілу Парето, яке використано для генерування трафіку набором клієнтів. При цьому обмеження пропускної спроможності окремих каналів враховано в реалізації генератора трафіку в разі використання усіченого варіанту розподілу.

Класично розподіл щільності ймовірності Парето представлено аналітично наступним чином:

$$f_x(x) = \begin{cases} \frac{k \cdot x_m^k}{x^{k+1}}, & x \geq x_m, \\ 0, & x < x_m \end{cases} \quad (1)$$

де x – випадкова величина; $x_m > 0$, $k > 0$ – параметри розподілу; $kx_m/(k-1)$ – математичне очікування при $k > 1$. Для цього розподілу дисперсія при $1 < k < 2$ прямує до нескінченності.

Генерування фрактальноподібної числової послідовності на основі скінченного автомату. Для генерування фракталоподібного телеграфного сигналу пропонується використовувати скінченний автомат, граф якого показано на рис. 3. На рисунку використано наступні умовні позначення: «0» та «1» – стани автомату, коли на вихід подається відповідне значення; λ_i – ймовірність відповідного переходу; p_0 та p_1 – ймовірності знайти систему у відповідному стані у випадковий момент часу.

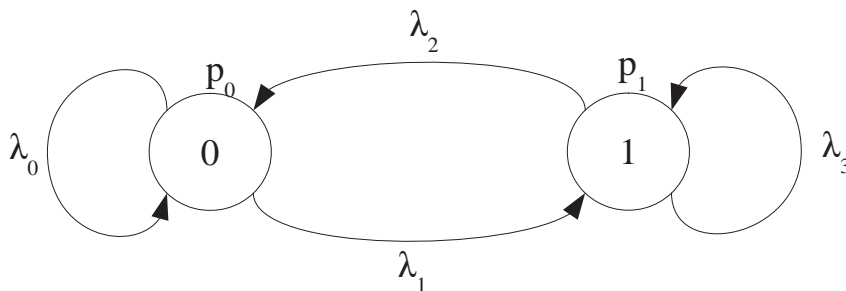


Рисунок 3 – Модель генератора фракталоподібного трафіку на скінченному автоматі
Джерело: [4]

Скінчений автомат має два стани «0» та «1», при цьому ймовірність переходу від «0» до «1» та від «1» до «0» в загальному випадку можуть бути різними. Для ймовірностей переходів λ повинні виконуватися наступні вимоги:

$$\begin{cases} \lambda_0 + \lambda_1 = 1 \\ \lambda_2 + \lambda_3 = 1 \end{cases} \quad (2)$$

При умові $\lambda_1 = \lambda_2$, граф стає симетричним і ймовірності $p_0 = p_1 = 0.5$ – при довгочасному спостережанні система знаходиться рівно ймовірно в одному з станів. В такому випадку математичне очікування генерованого ряду є $M = 0.5$, а дисперсія – $D = 0.25$. Хоч генерування наступного значення й залежить від попереднього значення, статистичні величини співпадають і для ряду незалежних випробувань. Доведемо це твердження аналітично.

Для графу рис. 3 справедливі наступні диференціальні рівняння відносно ймовірності станів системи:

$$\begin{cases} \frac{dp_0(t)}{dt} = -\lambda_1 p_0(t) + \lambda_2 p_1(t) - \lambda_0 p_0(t) + \lambda_0 p_0(t), \\ \frac{dp_1(t)}{dt} = \lambda_1 p_0(t) - \lambda_2 p_1(t) - \lambda_3 p_1(t) + \lambda_3 p_1(t). \end{cases} \quad (3)$$

Якщо врахувати, що знаходження системи в одному зі станів є гарантованою подією $p_0 + p_1 = 1$ та використати умові стаціонарності процесу в часі (коли ймовірності вже не змінюють свого значення і їх похідні рівні нулеві), перетворення системи (3) дає наступну систему:

$$\begin{cases} \lambda_1 p_0(t) - \lambda_2 p_1(t) = 0, \\ p_0(t) + p_1(t) = 1. \end{cases} \quad (4)$$

З останньої системи можна отримати ймовірності перебування системи у станах «0» та «1» (5):

$$p_0 = \frac{\lambda_2}{\lambda_1 + \lambda_2}; p_1 = \frac{\lambda_1}{\lambda_1 + \lambda_2}. \quad (5)$$

Якщо врахувати умову симетричності графу $\lambda = \lambda_1 = \lambda_2$, то ймовірності можна виразити наступним чином (6):

$$(\lambda = \lambda_1 = \lambda_2) \Rightarrow \left(p_0 = \frac{\lambda}{\lambda + \lambda}; p_1 = \frac{\lambda}{\lambda + \lambda} \right) \Rightarrow (p_0 = p_1 = 0.5). \quad (6)$$

За означенням математичного сподівання та дисперсії ми матимемо аналогічні значення, як і для незалежних випробувань генерування «0» та «1» з рівними ймовірностями: $M(x) = 0.5$, $D(x) = 0.5$. Проте для моделювання роботи систем обслуговування, більш впливовий результат має розподіл ймовірності часткових сум генерованих послідовностей, на яку й покажемо значний вплив фрактальної розмірності отриманих послідовностей.

Оцінка статистичних властивостей часткових сум генерованих послідовностей. З метою обґрунтування доцільності теоретичних досліджень потрібно провести експериментальне підтвердження формування фрактального трафіку на часткових сумах. Для цього було створене програмне забезпечення для генерування псевдовипадкових чисел «0» та «1». На основі використаного генератора побудовано 100 сум по 100 елементів в кожній. Результати моделювання показано на рис. 4. Як і очікувалося, в цьому випадку сума в середньому склала значення близьке до $M(S) = 49.42$ (теоретично 50) з дисперсією $D(S) = 24.04$ (теоретично 25). Тепер потрібно пересвідчитися в порушенні значення дисперсії при використанні генератора на скінченному автоматі.

Перший дослід проведено з генератором для якого ймовірність змінити стан на протилежний складає $\lambda = 0.5$. Результати показано на рис. 5. Розрахунок математичного очікування суми отриманих елементів є $M(S_{0.5}) = 49.75$, дисперсія складає $D(S_{0.5}) = 28.15$. Отримані результати є близькими до теоретичних, які отримано в разі використання незалежних випробувань. В якості висновку можна стверджувати, що при $\lambda = 0.5$ генератор на скінченному автоматі є аналогом генератора випадкових чисел.

Для наочності результатів далі проведено дослід при значеннях ймовірності змінити стан λ значно відмінних від 0.5, а саме при $\lambda = 0.05$ та $\lambda = 0.95$.

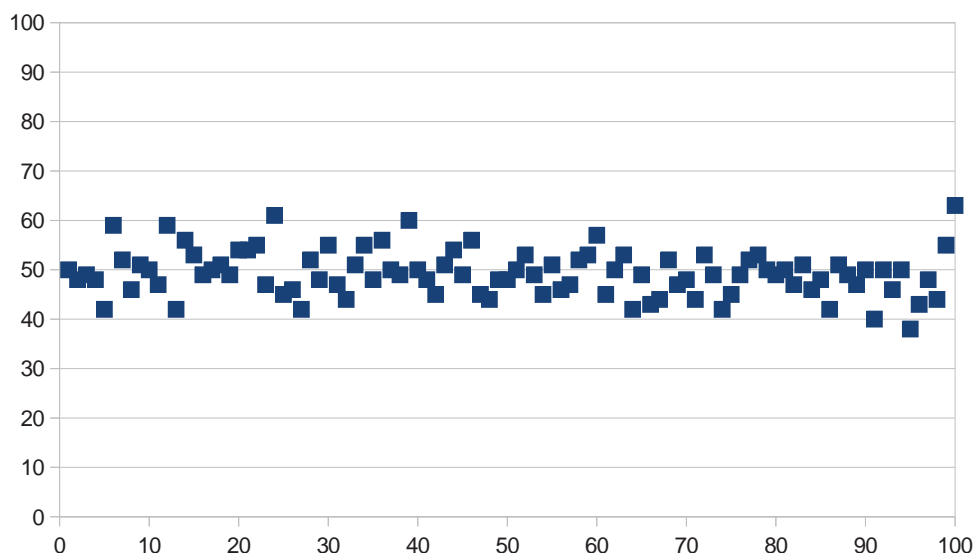


Рисунок 4 – Випробування з отримання часткових сум зі 100 послідовних значень при незалежних випробуваннях $M(S)=49.42$, $D(S)=24.04$

Джерело: розроблено автором

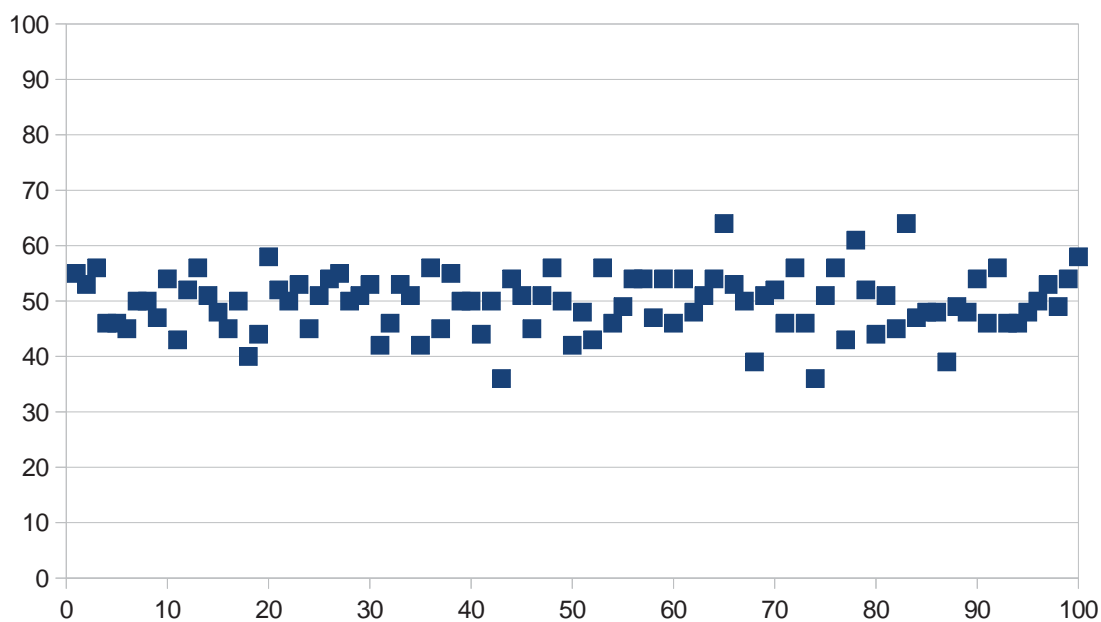


Рисунок 5 – Випробування з отримання часткових сум зі 100 послідовних значень при $\lambda=0.5$, $M(S_{0.5})=49.75$, $D(S_{0.5})=28.15$

Джерело: розроблено автором

Експеримент при високій ймовірності системи змінити свій стан ($\lambda=0.95$), генерований ряд має вкрай малу чисельність довгих серій з «1» та «0». Графік такої послідовності насичений високочастотними складовими, й намагається змінити попередню динаміку – ряд є антиперсистентним. Графік результату рахування 100 генерованих значень показаний на рис. 6. Цей графік характерний тим, що отримані суми мало відрізняються від математичного очікування, дисперсія суми є малою: $M(S_{0.95})=50.26$, $D(S_{0.95})=1.31$.

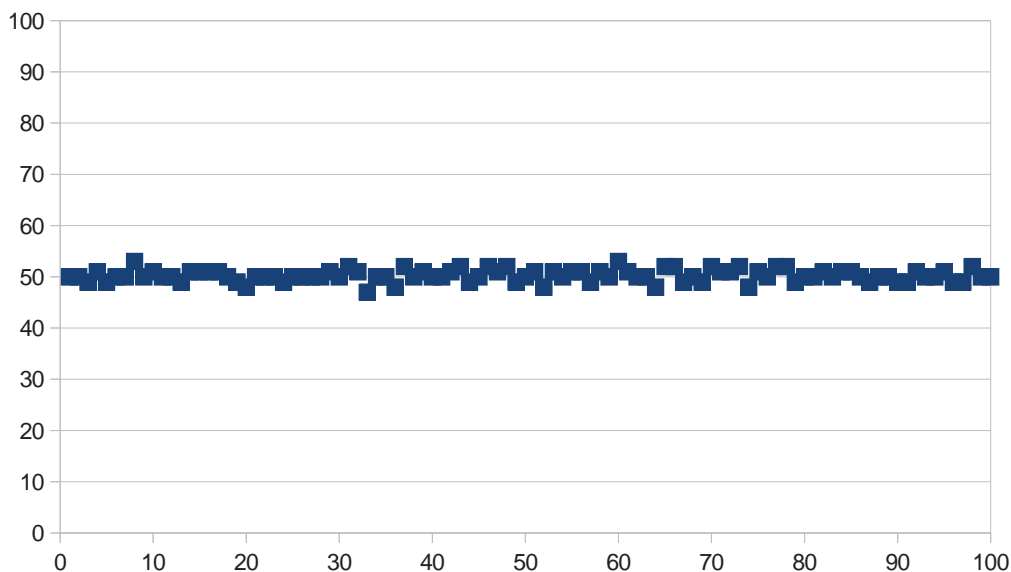


Рисунок 6 – Випробування з отримання часткових сум зі 100 послідовних значень при $\lambda=0.95$, $M(S_{0.95})=50.26$, $D(S_{0.95})=1,31$

Джерело: розроблено автором

Натомість дослід для малої ймовірності переходу в інший стан ($\lambda=0.05$), показує наявність довгих серій, які складаються лише з «0» або «1». При цьому суми рядів по 100 значень розкидані по всьому дозволеному діапазоні (рис. 7).

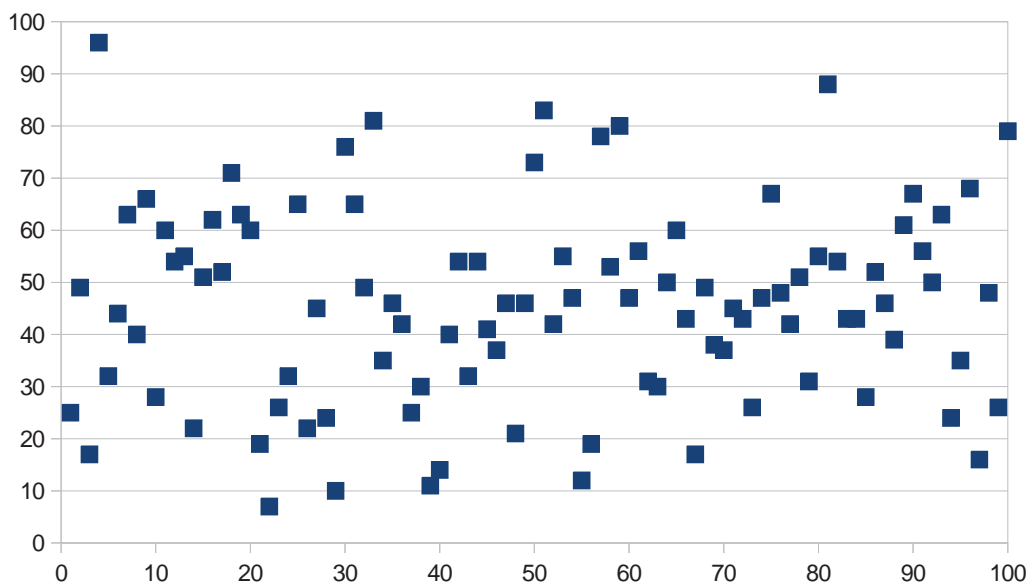


Рисунок 7 – Випробування з отримання часткових сум зі 100 послідовних значень при $\lambda=0.05$ $M(S_{0.05})=45.46$, $D(S_{0.05})=360.68$

Джерело: розроблено автором

В результаті математичне очікування суми ряду є незмінним (в межах статистичної похибки) $M(S_{0.05})=45.46$, а дисперсія приймає досить значну величину: $D(S_{0.05})=360.68$.

Відповідно до побудованих графіків до експериментального генерування псевдовипадкових послідовностей, можна зробити висновок про наявність

фрактальності в побудованих послідовностях. Тому задача теоретичної оцінки фрактальної розмірності послідовності, яку надає генератор, є актуальною.

Висновки. У даній роботі для реалізації методу генерування фрактальноподібної числової послідовності на основі скінченного автомату для моделювання трафіку у мережі були вирішені наступні завдання: показано актуальність задачі створення генераторів фрактальних бінарних послідовностей без використання нескінченних розподілів; запропоновано використати генератор фрактальної бінарної послідовності на основі скінченного автомату; показано можливість попереднього визначення фрактальної розмірності генерованого трафіку при інтенсивності $\lambda=0.5$. У подальшому потрібно продовжити роботу у наступних напрямках:

- провести аналітичні оцінки показника Херста генерованої бінарної послідовності при інтенсивності трафіку $\lambda=0.5$;
- показати варіативність фрактальної розмірності бінарної послідовності й при інших інтенсивностях λ ;
- вивести аналітичні вирази для отримання параметрів генератора з заданою густиною вихідних бітів з керуванням їх фрактальної розмірності;
- покращити аналітичні оцінки та їх узагальненням на довільну інтенсивність генерованого трафіку.

Список літератури

1. Броек Д.. Основы механики разрушения. Высшая школа, Москва, 1980./ Перевод Дорофеева Виктора Ивановича (Broek D. Elementary engineering fracture mechanics, Лейден, 1974).
2. Ушанев К.В. Имитационные модели системы массового обслуживания типа Pa/M/1, H2/M/1 и исследование на их основе качества обслуживания трафика со сложной структурой. *Системы управления, связи и безопасности*. 2015. №4. С.217-251.
3. Добровольский Е.В., Нечипорук О.Л. Моделирование сетевого трафика с использованием контекстных методов. *Наукові праці ОНАЗ ім. О.С. Попова*. 2005. № 1. С.24-32.
4. Семенов С.Г., Мелешко Е.В., Илюшко Я.В. Математическая модель мультисервисного канала связи на основе экспоненциальной GERT-сети. *Системы озброєння і військова техніка, ХУПС*, 2011. № 3(27). С.64-67.
5. Tamara Radivilova, Yousef Ibrahim Daradkeh, Lyudmyla Kirichenko. Development of QoS Methods in the Information Networks with Fractal Traffic. *International Journal of Electronics and Telecommunications*. 2018. 64 (1). P. 27-32.
6. Mahdi Barat, Zadeh Joveini, Javad Sadri, Hoda Alavi Khoushhal. Fractal Modeling of Big Data Networks. *International Conference on Pattern Recognition and Artificial Intelligence (ICPRAI 2018)*. Canada, Montreal: Concordia University. 2018. P. 1-4.
7. Jiang D., Huo L., Li Y. Fine-granularity inference and estimations to network traffic for SDN. *PLoS ONE* 2018, 13(5). Doi.org/10.1371/journal.pone.0194302.
8. Bulakh V., Kirichenko L., Radivilova T. Time Series Classification Based on Fractal Properties. *International Conference on Data Stream Mining & Processing (DSMP)*: in Proceedings of the 2018 IEEE Second, 21–25 August 2018, Lviv, 2018. P. 198–201. Doi:10.1109/DSMP.2018.8478532.
9. Youri Raaijmakers, Hansjoerg Albrecher, Onno Boxma. The single server queue with mixing dependencies, 2017. February 6. (http://www.hec.unil.ch/halbrech_files/QueueMixing.pdf).
10. Xie K., Peng C, Wang X., Xie G., Wen J. Accurate recovery of internet traffic data under dynamic measurements, in Proc. of INFOCOM'17. 2017. P. 1–9.
11. Wang C, Maguluri S T, Javidi T. Heavy traffic queue length behavior in switches with reconfiguration delay, in Proc. of INFOCOM'17. 2017. P. 1–9.
12. Xie G, Xie K, Huang J, Wang X, Chen Y., Wen J. Fast low-rank matrix approximation with locality sensitive hashing for quick anomaly detection, in Proc. of INFOCOM'17. 2017. P. 1–9.
13. Tatamikova Tatiana Mikhailovna, Kutuzov Oleg Ivanovich. Evaluation and comparison of classical and fractal queuing systems. *XV International Symposium Problems of Redundancy in Information and Control Systems*. 2016. P.155 – 157.

14. Czarkowski Michał, Kaczmarek Sylwester, Wolff Maciej. Influence of Self -Similar Traffic Type on Perform ance of QoS Routing Algorithms. *INTL Journal of electronics and telecommunications*. 2016. Vol. 62, no. 1. P. 81-87.
15. Lakhmi Priya Das, Sanjay Kumar Patra, Sarojananda Mishra. Impact of hurst parameter value in self-similarity behaviour of network traffic. *International Journal of Research in Computer and Communication Technology*. 2016. Vol 5, no 12. P.631-633.
16. Hae-Duck Joshua Jeong. Modelling of self-similar teletraffic for simulation. University of Canterbury. July 2002. 270 p.
17. Кучук Г. А., О., Можаяев О., Воробйов О. В. Метод прогнозування фрактального трафіка. *Радіоелектронні і комп'ютерні системи*. 2006. №6,.С. 181–188. URL: http://nbuv.gov.ua/UJRN/recs_2006_6_34.
18. Кучук Г. А., Можаяев О. О., Воробйов О. В. Прогнозирование трафика для управления перегрузками интегрированной телекоммуникационной сети. *Радіоелектронні і комп'ютерні системи*. 2007. № 8. С. 261–271. URL: http://nbuv.gov.ua/UJRN/recs_2007_8_48.
19. Кучук Г. А., Можаяев О. О., Воробйов О. В. Аналіз та моделі самоподібного трафіка. *Авиационно-космическая техника и технология*. 2006. № 9. С. 173–180. URL: http://nbuv.gov.ua/UJRN/aktit_2006_9_35.
20. Коваленко А. А., Кучук Г. А., Можаяев А. А. Построение экспоненциальных временных шкал при анализе очередей мультисервисных сетей. *Радіоелектронні і комп'ютерні системи*. 2010. № 7. С. 257–262. URL: http://nbuv.gov.ua/UJRN/recs_2010_7_52.

References

1. Broek, D. (1980). *Osnovni mehaniki razrusheniya*. Moskva: Vysshaya shkola. Perevod Dorofeeva Viktora Ivanovicha. (1974). Leyden: Elementary engineering fracture mechanics [in Russian].
2. Ushaney, K.V. (2015). Imitatsionnyie modeli sistemyi massovogo obsluzhivaniya tipa Pa/M/1, H2/M/1 i issledovanie na ih osnove kachestva obsluzhivaniya trafika so slozhnoy strukturoy. *Sistemyi upravleniya, svyazi i bezopasnosti*, 4, 217-251 [in Russian].
3. Dobrovolskiy, E.V. & Nechiporuk, O.L. (2005). Modelirovanie setevogo trafika s ispolzovaniem kontekstnyih metodov. *NaukovI pratsI ONAZ Im. O.S. Popova, 1*, 24-32 [in Russian].
4. Semenov, S.G., Meleshko, E.V. & Ilyushko, Ya.V. (2011). Matematicheskaya model multiservisnogo kanala svyazi na osnove eksponentsialnoy GERT-seti. *Sistemi ozbroEnnya I vlyskova tehnlka, HUPS*, 3(27), 64-67 [in Russian].
5. Tamara Radivilova, Yousef Ibrahim Daradkeh & Lyudmyla Kirichenko. (2018). Development of QoS Methods in the Information Networks with Fractal Traffic. *International Journal of Electronics and Telecommunications*, 64 (1), 27-32 [in English].
6. Mahdi Barat, Zadeh Joveini, Javad Sadri & Hoda Alavi Khoushhal (2018). Fractal Modeling of Big Data Networks. *International Conference on Pattern Recognition and Artificial Intelligence (ICPRAI 2018)*. Canada, Montreal: Concordia University, 1-4 [in English].
7. Jiang, D., Huo, L. & Li, Y. (2018). Fine-granularity inference and estimations to network traffic for SDN. *PLoS ONE*, 13(5). Doi.org/10.1371/journal.pone.0194302 [in English].
8. Bulakh, V., Kirichenko, L. & Radivilova, T. (2018). Time Series Classification Based on Fractal Properties. *International Conference on Data Stream Mining & Processing (DSMP): in Proceedings of the 2018 IEEE Second, 21–25 August*. Lviv. (pp. 198–201). Doi:10.1109/DSMP.2018.8478532 [in English].
9. Youri Raaijmakers, Hansjoerg Albrecher & Onno Boxma. (2017) The single server queue with mixing dependencies February 6. (http://www.hec.unil.ch/halbrech_files/QueueMixing.pdf) [in English].
10. Xie, K., Peng, C, Wang, X., Xie, G. & Wen, J. (2017). Accurate recovery of internet traffic data under dynamic measurements, in Proc. of INFOCOM'17, (pp. 1–9) [in English].
11. Wang, C, Maguluri, S T & Javidi, T. (2017). Heavy traffic queue length behavior in switches with reconfiguration delay, in Proc. of INFOCOM'17, (pp. 1–9) [in English].
12. Xie, G, Xie, K, Huang, J, Wang, X, Chen, Y. & Wen, J. (2017). Fast low-rank matrix approximation with locality sensitive hashing for quick anomaly detection, in Proc. of INFOCOM'17, (pp. 1–9) [in English].
13. Tatamikova Tatiana Mikhailovna & Kutuzov Oleg Ivanovich. (2016). Evaluation and comparison of classical and fractal queuing systems. *XV International Symposium Problems of Redundancy in Information and Control Systems*, 155 – 157 [in English].

14. Czarkowski Michał, Kaczmarek Sylwester & Wolff Maciej. (2016). Influence of Self -Similar Traffic Type on Perform ance of QoS Routing Algorithms. *INTL Journal of electronics and telecommunications*, Vol. 62, 1, 81-87 [in English].
15. Lakhmi Priya Das, Sanjay Kumar Patra (2016). Sarojananda Mishra. Impact of hurst parameter value in self-similarity behaviour of network traffic. *International Journal of Research in Computer and Communication Technology*, Vol 5, 12, 631-633 [in English].
16. Hae-Duck Joshua Jeong. (2002). *Modelling of self-similar teletraffic for simulation*. University of Canterbury [in English].
17. Kuchuk, G. A., MozhaEv, O. O. & Vorobyov, O. V. (2006). Metod prognozuvannya fraktalnogo trafika. *Radloelektronni I komp'yuterni sistemi*, 6, 181-188. URL: http://nbuv.gov.ua/UJRN/recs_2006_6_34 [in English].
18. Kuchuk, G. A., MozhaEv, O. O. & Vorobyov, O. V. (2007). Prognozirovanie trafika dlya upravleniya peregruzkami integrirovannoy telekommunikatsionnoy seti. *Radloelektronni I komp'yuterni sistemi*, 8, 261-271. URL: http://nbuv.gov.ua/UJRN/recs_2007_8_48 [in Russian].
19. Kuchuk, G. A., MozhaEv, O. O. & Vorobyov, O. V. (2006). Analiz ta modeli samopodlnogo trafika. *Aviatsionno-kosmicheskaya tehnika i tehnologiya*, 9, 173-180. URL: http://nbuv.gov.ua/UJRN/aktit_2006_9_35 [in English].
20. Kovalenko, A. A., Kuchuk, G. A. & Mozhaev, A. A. (2010). Postroenie eksponentsialnykh vremennykh shkal pri analize ocheredey multiservisnykh setey. *Radloelektronni I komp'yuterni sistemi*, 7, 257-262. URL: http://nbuv.gov.ua/UJRN/recs_2010_7_52 [in Russian].

Hanna Drieieva, teacher, **Oleksii Smirnov**, Prof., Doct. of Eng., **Oleksandr Drieiev**, PhD tech. sci.

Central Ukrainian National Technical University, Kropyvnytskyi, Ukraine

The Method of Generating a Fractally Similar Numerical Sequence Based on a Finite Automaton for Modeling Traffic in a Network

In this paper, the problem of presentation of traffic, for modeling its behavior when loading computer networks is considered. It is determined that traffic in computer networks on certain scales is fractal-like and at the same time the classical laws of calculation of parameters of a mass service system give false results.

The subject of study in the article is a method of generating a fractal numerical sequence based on a finite automaton for modeling traffic in a network. The purpose of the work is to create a generator of fractal binary sequences based on a finite automaton and to use the method of generating a fractal numerical sequence based on a finite automaton for modeling traffic in a network. To do this, the following tasks were solved: Fractal traffic was built using the proposed random number generator, its defects were determined; the place of the fractal traffic generator in the simulation systems is determined; the generation of a fractal numerical sequence on the basis of a finite automaton was performed; The statistical properties of partial sums of generated sequences are estimated. The result of the work is the implementation of the method of generating a fractal numerical sequence based on a finite automaton for modeling traffic in the network.

The relevance of the problem of creating generators of fractal binary sequences without the use of infinite distributions is shown; it is suggested to use a generator of a fractal binary sequence based on a finite automaton; the possibility of preliminary determination of the fractal dimension of the generated traffic with intensity $\lambda = 0.5$ is shown. Further directions of research, which consist in solving the following tasks, are determined: to carry out analytical estimations of the Hurst index of generated binary sequence with the traffic intensity $\lambda = 0.5$; show the variability of the fractal dimension of the binary sequence and with other intensities λ ; output analytical expressions for generator parameters with a given output bits density with the control of their fractal dimension; improve analytical ratings and generalize them to the arbitrary intensity of generated traffic.

fractal binary sequence generator, traffic, computer networks

Одержано (Received) 08.02.2019

Прорецензовано (Reviewed) 10.04.2019

Прийнято до друку (Approved) 04.06.2019