УДК 681.324:621.325

О.О. Можаєв

Національний технічний університет «ХПІ», Харків

ЗАСТОСУВАННЯ МАТЕМАТИЧНОГО АПАРАТУ НЕЛІНЕЙНИХ ДИНАМІЧНИХ СИСТЕМ ПРИ МОДЕЛЮВАННІ ТРАФІКУ У ГЕТЕРОГЕННИХ МЕРЕЖАХ

Проведено аналіз гетерогенної комп'ютерної мережі. Однією з основних рис трафіку гетерогенної мережі є суттєва нестабільність трафіку, його мінливість, яка є наслідком неузгодженої взаємодії складових частин інтегрального трафіку. Розглянута можливість моделювання пакетного телекомунікаційного трафіку за допомогою теорії хаоса та хаотичних відображень. Проведено моделювання фрактального процесу солітоноподібними функціями. В результаті проведених досліджень нелінійних динамічних систем встановлена можливість створити модель трафіку гетерогенної комп'ютерної мережі, засновану на його уявленні у вигляді солітоноподібних функцій, які є результатом вирішення нелінійних диференційних рівнянь Кортевега-де Вріза.

Ключові слова: *гетерогенна мережа, пакетний трафік, хаос, солітони, гамильтонова система, фрактальний процес, солітоноподібні функції, нелінійні динамічні системи, кноідальна хвиля.*

Вступ

Характер зміни і взаємодії телекомунікаційного трафіку в гетерогенній комп'ютерній мережі передачі даних викликає значний інтерес. Цей інтерес обумовлений по-перше широкою розповсюдженістю таких мереж (це глобальні мережі передачі даних, мережі передачі даних спеціального призначення, мережі, що обслуговують різні державні, міждержавні установи, мережі передачі крупних корпорацій і фірм, а також багато інших). Однією з основних рис трафіку гетерогенної мережі є суттєва нестабільність трафіку, його мінливість, яка є наслідком неузгодженої взаємодії складових частин інтегрального трафіку, які керуються різними програмно-апаратними засобами [1 – 4]. Традиційні способи опису припускають, що пакетний трафік складається з активних і пасивних періодів з добре відомими статистичними характеристиками. Навпаки, вимірювальні дослідження відзначають, що не існує закономірної довжини пульсації. Виявилось, що пульсації виявляються на багатьох часових масштабах [5 – 8]. На кожному масштабі докладне дослідження даних виявляє, що пульсації переходять в інші пульсації на менших масштабах часу і т.д. на великій кількості часових масштабів.

Таким чином, виникає актуальне завдання створення нового підходу до моделювання процесу пакетного трафіку в гетерогенних мережах на основі вивчення нелінійних динамічних коливальних систем із стохастичними параметрами.

Метою даної статті є моделюваня трафіку гетерогенної мережі за допомогою опису пакетного трафіку хаотичними відображеннями та представлення пакетного телекомунікаційного трафіку гетерогенної мережі як нелінійної динамічної системи із стохастичними параметрами, що дозволить створити модель процесу передачі даних, яка враховує особливості поведінки пікових (найбільш навантажених) ділянок телекомунікаційного трафіку.

Моделювання пакетного трафіку за допомогою хаотичних відображень

Хаотичні відображення – це малорозмірні нелінійні системи, зміна в часі яких описується інформацією про початковий стан і безліччю динамічних законів. Хаос (безладне або зовнішньо стохастична поведінка), що проявляється такими системами, виникає з властивості, відомої як залежність, котра чутлива до початкових умов (SIC - Sensitive dependence on Initial Conditions (чутлива залежність від початкових умов)). Якщо розглянути хаотичне відображення, що задається функцією $f(x)$, і дві траєкторії з дуже схожими початковими умовами x_0 і $x_0+\varepsilon$, то SIC математично може бути записана таким чином:

$$\left|f^N(x_0+\varepsilon)-f^N(x_0)\right|=\varepsilon e^{N\lambda(x_0)}. \qquad (1)$$

Іншими словами, траєкторії, що починаються з довільно близькими початковими умовами, сходяться з експоненційною швидкістю. Параметр $\lambda(x_0)$, що описує експоненціальне відхилення, називається ***показником Ляпунова***. Щоб відображення було хаотичним, цей параметр повинен бути позитивним «майже для всіх» x_0 [3]. Основне припущення аналізу класичних динамічних систем полягає в тому, що якщо початкові умови відомі, то подальша поведінка системи може бути обчислена для будь-якого моменту часу. На практиці початкові умови можуть бути визначені лише з кінцевою точністю. У хаотичних системах ця невизначеність в початкових умовах посилюється з експоненційною швидкістю, створюючи їх поведінку через тривалий інтервал часу непередбачуваним. Інша властивість хаотичних систем полягає в тому, що траєкторії сходяться у фазовому просторі або в просторі станів до об'єкту, званого *дивним атрактором,* який звичайно має фрактальну структуру.

Розглянемо одномірне відображення, в якому змінна стану x_n змінюється в часі відповідно до нелінійного відображення:

$$\begin{aligned} x_{n+1} &= f_1(x_n),\ y_n = 0,\ \left(0 < x_n < d\right); \\ x_{n+1} &= f_2(x_n),\ y_n = 0,\ \left(0 < x_n < d\right). \end{aligned} \tag{2}$$

Щоб відображення було хаотичним, функції $f_1(\cdot)$ і $f_2(\cdot)$ повинні задовольняти рівнянню (1). Початкова умова повністю визначає траєкторію у фазовому просторі, яка є аналогом «реалізації» стохастичного процесу.

Тепер можна розглянути процес генерування пакетів, припускаючи, що джерело знаходиться у пасивному або активному стані у момент часу n залежно від того, чи являється x_n вищим або нижчим за поріг d. Кожна ітерація відображення в активному стані генерує пакет (або групу пакетів). В результаті процес пакетних надходжень визначається за допомогою еволюції зв'язаної індикаторної змінної y_n.

Можливі інші інтерпретації джерел. Наприклад, можна визначити поріг для індикаторної змінної y_n, інший від порогу, використовуваного для визначення $f(\cdot)$. Як альтернативу можна означити динамічну систему, яка безпосередньо генерує часи між надходженнями. Можна визначити безперервний в часі процес, встановлюючи інтервал ітерації $\delta t \to 0$.

В міру того як відображення проходить по своїй траєкторії, виникає питання про те, як часто на інтервалі спостереження з n ітерацій траєкторія потрапляє в задану округу $\left(x, x + dx\right)$. Такі питання виникають при розгляді впливу відображення на довільну щільність точок. Вплив однієї ітерації відображення полягає в переміщенні точки x_n в $f(x_n)$, тобто щільність $\delta\left(x - x_n\right)$ перетвориться в $\delta\left(x - f\left(x_n\right)\right)$. Тоді дія однієї ітерації відображення на довільну щільність точок $\rho_n\left(x\right)$ визначається як [3]:

$$\rho_{n+1}\left(x\right) = \int_0^1 \delta\left(x - f\left(z\right)\right)\rho_n\left(z\right)dz. \tag{3}$$

Якщо функція $\rho_n\left(x\right)$ не залежить від часу n, то вона називається *відносною щільністю* відображення $f(x)$ і описує щільність ітерацій для x_n на інтервалі (0; 1) при $n \to \infty$. Відзначимо: у виразу (3) робиться припущення, що відносна щільність не залежить від початкової умови x_0. Враховуючи, що початкова умова відповідає індивідуальній траєкторії, це еквівалентно припущенню ергодичності. Ця властивість лежить в основі хаотичного відображення.

На практиці спостереженню доступно y_n, тоді як x_n приховано, і проблему складає придатний вибір таких $f_1(\cdot)$ і $f_2(\cdot)$, щоб властивості y_n співпадали із спостережуваними в реальному трафіку.

Шматково-лінійні відображення

Для цього класу відображень функція $f(\cdot)$ складається з декількох шматково-лінійних сегментів

$$x_{n+1} = \begin{cases} \dfrac{x_n}{\left(1-\lambda\right)}, & 0 < x_n \le \left(1-\lambda\right); \\ \dfrac{x_n - \left(1-\lambda\right)}{\lambda}, & \left(d \equiv 1-\lambda\right) < x_n < 1. \end{cases} \tag{4}$$

Зв'язана індикаторна змінна y_n, що відображає процес генерування пакетів, як і раніше, рівна 1, коли x_n перевищує поріг d і 0. Відносна щільність для цього класу відображень є рівномірною, і вона генерує при кожній ітерації пакет з ймовірністю λ, з надходженнями, що формують незалежний, однаково розподілений процес.

З цього виходить, що активні і пасивні періоди розподілені геометрично.

Більш пульсуючі надходження можуть бути згенеровані з використанням додаткових шматково-лінійних сегментів.

Уривчасте відображення

Розширенням попереднього випадку є уривчасте відображення, в якому шматково-лінійне відображення, відповідне пасивному інтервалу, заміняється на наступний нелінійний сегмент:

$$x_{n+1} = \begin{cases} \varepsilon + x_n + cx_n^m, & 0 < x_n \le d, \\ \dfrac{x_n - d}{1-d}, & d < x_n < 1. \end{cases} \tag{5}$$

де $c = \left(1 - \varepsilon - d\right)/d^m$.

Це відображення називатимемо уривчастим, оскільки воно пов'язане з декількома відображеннями, використовуваними для моделювання явища, відомого як уривчастість при дослідженні турбулентності.

Активний період, як і раніше, відображається за допомогою шматково-лінійного відображення. Одна з фрактальних властивостей, спостережуваних в реальному трафіку, полягає в тому, що щільність розподілу вірогідності (ЩРВ) часів між надходженнями володіють важчими хвостами, ніж експоненційні, котрі, як правило, припускаються в традиційних моделях. Тому отримуємо широкий діапазон часів між надходженнями в реальному трафіку, який охоплюється за допомогою уривчастого відображення, вибираючи таким ε, що $\varepsilon \ll d$.

Підстановка $f_1(\cdot)$ і $f_2(\cdot)$ в вираз (2) після перетворень приводить до наступного виразу для відносної щільності:

$$\rho(x) = \frac{\rho\left(\frac{\sqrt{(1+4cx-4c\varepsilon)}-1}{2c}\right)}{\sqrt{1+4cx-4c\varepsilon}} + \\ +(1-d)\rho((1-d)x+d). \qquad (6)$$

У більшості з існуючих теоретичних моделей ЩРВ часів між надходженнями пакетів затухають експоненційно.

На відміну від цього ЩРВ між надходженнями реальних трафікових процесів затухають набагато повільніше – по степеневих законах.

Враховуючи, що відображення розпочинає пасивний період в точці x_0, тривалість пасивного періоду τ приблизно визначено як [3]:

$$\tau = \frac{1}{\sqrt{c\varepsilon}}\left\{arctg\left(\frac{d\sqrt{c}}{\sqrt{\varepsilon}}\right) - arctg\left(\frac{x_0\sqrt{c}}{\sqrt{\varepsilon}}\right)\right\} \qquad (6)$$

З цього виходить, що максимальний час між надходженнями k, якеий можна згенерувати із заданим набором параметрів, задовольняє співвідношенню $\max(k) \approx \pi / (2\sqrt{c\varepsilon})$. Розподіл пасивного періоду $(\omega(k) \propto k^{-2})$ має хвіст, який спадає по степеневому закону. Математичне очікування $(M(k) \propto 1/\sqrt{\varepsilon})$ можна зробити довільно великим, зменшуючи ε. Таким чином можна підібрати властивості, спостережувані в реальних вимірюваннях.

Фрактальні розмірності

Як показник «пульсуючої структури» трафикового потоку може бути використана фрактальна розмірність. Згладжені процеси мають розмірність, рівну 1. Із зменшенням фрактальної розмірності відповідно збільшується пульсуюча структура. На часових масштабах, цікавих при проектуванні, реальний трафік характеризується розмірностями меншими 1.

Кореляційна розмірність процесу надходжень $R(\tau)$ на часовому масштабі τ рівна очікуваному числу надходжень на інтервалі завдовжки 2τ з центром в точці надходження. Цю величину можна оцінити за допомогою підрахунку числа надходжень на такому інтервалі навколо кожної точки надходження і усереднюванням по всіх точках надходження. В результаті міра кореляції буде рівна $D_R = -\lim\left[R(\tau)/\log\tau\right]$ за умови, що ця границя існує.

Для самоподібних процесів кореляційний розмір визначається за результатами вимірювань у вигляді статистичного закону $R(\tau) \propto \tau^{D_R}$ у широкому діапазоні масштабів часу і знаходиться шляхом оцінки нахилу лінії регресії до графіка $\log R(\tau) = f(\log\tau)$ [4]. Для згладжених процесів надходження, таких як пуасоновські надходження, легко показати, що D_R швидко сходиться до 1.

Моделювання особливостей фрактального трафіку з використанням рівняння Картевега-де Вріза

Розглянемо рівняння Картевега-де Вріза (скорочено називатимемо рівнянням КДВ), за допомогою якого будемо проводити подальше моделювання фрактального трафіку. Рівняння КДВ – це нелінійне диференціальне рівняння в приватних похідних, яке можна уявляти у вигляді

$$u_t - 6uu_x + u_{xxx} = 0. \qquad (7)$$

Фізично змінну u можна визначити як відхилення від рівноважного стану значення деякої величини (висота, швидкість, щільність і так далі). У нашому випадку під цією змінною краще всього передбачати параметри телекомунікаційного трафіку такі, наприклад, як інтенсивність трафіку, розмір вікна протоколів транспортного рівня або кількість втрачених пакетів даних.

Особливістю рівняння КДВ є те, що воно інтегрується і має розв'язання у вигляді стаціонарних хвиль, що біжать, а саме відокремленої хвилі у вигляді:

$$u(x,t) = -\frac{1}{2}a^2 sch^2\left[\frac{1}{2}a(x-x_0) - at^2\right] \qquad (8)$$

і періодичної кноідальної хвилі, яка може бути виражена через еліптичні функції Якобі. Відокремлені хвилі утворюють однепараметрічний клас рішень у формі імпульсів, швидкість переміщення яких a^2 пропорційна амплітуді, а ширина $1/a$ зворотнопропорційна квадратному корню з амплітуди. Таким чином, вищі відокремлені хвилі розповсюджуватимуться швидше низьчих.

У загальному випадку довільне локалізоване обурення для рівняння КДВ розділяється на дві частини: солітони, що розповсюджуються направо, і осцилююча хвиля з амплітудою, затухаючою у часі, що розповсюджується вліво.

Для подальших теоретичних досліджень солітоноподібних рішень рівняння КДВ і зіставлення цих рішень з процесом передачі даних в гетерогенній мережі на рис. 1 представимо графіки реалізацій трафіку в мережі.

Аналіз графіку реалізації трафіку (рис.1) показує те, що характер змін реального трафіку можна зіставити із поведінкою вирішення рівняння КДВ з урахуванням специфіки початкових і граничних умов.

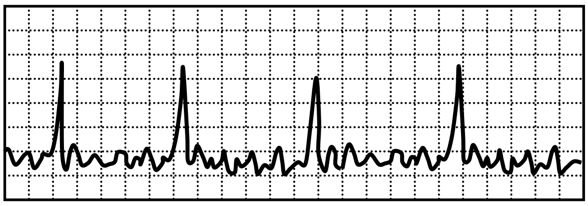


Рис. 1. Графік реалізації трафіку

Таким чином, виникає теоретична можливість вивчення властивостей трафіку і прогнозу його поведінки (рівень інтенсивності, кількість втрачених пакетів та інші) на основі моделювання процесу передачі пакетів в гетерогенній мережі як нелінійної динамічної системи, в якій розповсюджуються солітоноподібні обурення.

Вирішення рівняння Картевега-де Вріза. Для успішного моделювання необхідно проаналізувати методи вирішення рівнянь КДВ і застосовність використання цих методів.

Припустимо, що наявність солітонних вирішень рівняння КДВ тісно пов'язана з існуванням нескінченної послідовності поліноміальних законів збереження, що мають вигляд:

$$T_t + X_x = 0, \qquad (9)$$

де щільність, що зберігається, T та потік X деякої величини є поліноміальними функціями змінної u та її похідних по x. Очевидно, що рівняння КДВ само може бути записане у вигляді закону збереження:

$$u_t + \left[-3u^2 + u_{xx}\right]_x = 0. \qquad (10)$$

Наступні дві щільності, що зберігається, в цій послідовності такі:

$$T_2 = u^2; \quad T_3 = u^3 + \frac{1}{2}u_x^2, \qquad (11)$$

а у наступні щільності, що зберігаються, включають похідні вищого порядку. Приведемо доказ існування нескінченного ряду таких величин.

Якщо в рівнянні (7) квадратичний закон взаємодії потоків замінити кубічним, то хвилі можуть бути описані модифікованим рівнянням КДВ:

$$v_t - 6v^2 v_x + v_{xxx} = 0. \qquad (12)$$

Модифіковане рівняння КДВ також володіє нескінченною послідовністю поліноміальних законів збереження; проте рівняння загального класу

$$w_t - 6w^p w_x + w_{xxx} = 0; \quad p = 3, \ 4, \ 5, \ldots \qquad (13)$$

мають тільки по три поліноміальних закону збереження. Наявність нескінченних послідовностей законів збереження для рівняння КДВ і модифікованого рівняння КДВ приводить до припущення існування зв'язку між вирішеннями цих рівнянь.

Якщо v – рішення модифікованого рівняння КДВ:

$$Qv \equiv v_t - 6v^2 v_x + v_{xxx} = 0, \qquad (14)$$

то

$$u \equiv v^2 + v_x \qquad (15)$$

є рішенням рівняння КДВ

$$Pu \equiv u_t - 6uu_x + u_{xxx} = 0. \qquad (16)$$

Перетворення (15) зв'язує два нелінійні рівняння. Скористаємося ним для отримання інформації про точне вирішення рівняння КДВ при $-\infty < x < \infty$ та $t > 0$ з початковими умовами:

$$u(x,t) = f(x); \quad -\infty < x < \infty, \qquad (17)$$

де $f(x)$ – функція, яка задовольняє умовам:

$$\sum_{i=1}^{4} \int_{-\infty}^{\infty} \left| \frac{\partial^i f(x)}{\partial x_i} \right| dx < \infty; \qquad 18)$$

$$\int_{-\infty}^{\infty} \left(1 + |x|\right) |f(x)| dx < \infty, \qquad (19)$$

які забезпечують наявність класичного рішення.

Можна відзначити, що рівняння КДВ інваріантне відносно перетворень координат, що дозволяє проводити відповідні заміни змінних.

Тоді, скориставшись перетворенням (15) рівняння КДВ:

$$\psi_{xx} - (u - \lambda)\psi = 0. \qquad (20)$$

Поклавши $\lambda = k^2$, представимо хвилеву функцію ψ як залежну від просторової координати x (у випадку передачі даних в мережах її еквівалент поточний час). Тоді асимптотична поведінка хвилевої функції, що є рішенням рівняння КДВ, можна представити у вигляді:

$$\psi(x,t) \sim \begin{cases} e^{-ikx} + b(k)e^{ikx}, & \text{при } x \to \infty; \\ a(k)e^{-ikx}, & \text{при } x \to -\infty. \end{cases} \qquad (21)$$

За цими даними побудуємо функцію:

$$B(\zeta) = \sum_{n=1}^{N} c_n^2 e^{-\chi_n \zeta} + \frac{1}{2\pi} \int_{-\infty}^{\infty} b(k) e^{ik\zeta} dk, \qquad (22)$$

де сума відповідає внеску дискретного спектру, а інтеграл Фурьє – внеску безперервного спектру. У подальшому після підстановки цієї функції в лінійне інтегральне рівняння Гельфанда-Левітана-Марченка:

$$K(x,y) + B(x+y) + \int_{x}^{\infty} B(y+z)K(x,z)dz = 0, \qquad (23)$$

і вирішивши його, знайдемо вирішення рівняння КДВ

Вирішення рівняння КДВ залежить від можливості вирішити лінійне рівняння Гельфанда-Левітана-Марченка (ГЛМ). У випадку, якщо таке рішення існує, то вирішення рівняння КДВ можна представити у вигляді:

$$u(x,t) = -2\frac{\partial}{\partial x}K(x,x;t). \qquad (24)$$

Перевага цього рішення в тому, що вираз (24) є лінійним рівнянням з однією незалежною змінною у той час, коли початкове рівняння КДВ є нелінійним диференційним рівнянням в часткових похідних.

Детальний асимптотичний аналіз цих рівнянь показує, що такі рішення є чисто солітоними тобто існує однозначна відповідність між власними значеннями і параметрами солітонів.

Крім того, можна показати, що рівняння КДВ є повністю інтегрованою гамильтоновою системою. Таким чином, нами було встановлено, що існує можливість провести моделювання фрактального процесу передачі даних в гетерогенній мережі за допомогою нелінійних динамічних систем, що описуються нелінійними рівняннями КДВ, з урахуванням умов, які є характерними при обміні даними.

Моделювання фрактальногопроцесу солітоноподібними функціями

Для моделювання процесу передачі пакетних даних у гетерогенній мережі, трафик якого має фрактальні особливості, автором запропоновано використання рівнянь КДВ з параметрами, початковими та кінцевими умовами, які є характерними для трафіку. На рис.2 наведені графіки змодельованих процесів передачі даних на ділянці мережі.

В якості рішення рівняння (24) була використана така функціональна залежність:

$$u(x,t) = -1 / \left\{ -\frac{1}{2}a^2 \mathrm{sch}^2\left[\frac{1}{2}a\left(x - x_0\right) - at^2\right]\right\}, \qquad (25)$$

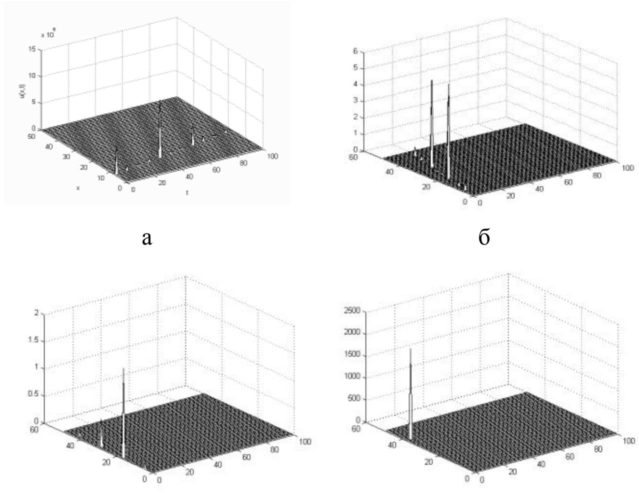
де значення початкових умов x_0 та коефіцієнту а приймають значення:

x_0=5; а=0,5; x_0=5; а=2,5; x_0=5; а=5;

x_0=100; а=50;

відповідно для графіків 2, а та 2, г.

У подальшому дослідженні було проведено вивчання статистичних характеристик трафіку, який був змодельований. Аналіз статистичних характеристик трафіку визначив, що значення показника Херста знаходиться в межах Н=0,73-0,86, що підтверджує фрактальні властивості отриманих моделей. Ці показники не набагато відрізняються від показників, які отримані за допомогою інших моделей [7,8]. На рис. 3, а – 3, в представлені графіки реальних телекомунікаційних трафіків гетерогенної мережі передачі даних, які перетворені в простір MatLab. Розраховані значення показника Херста для реального трафіку знаходяться в межах Н=0,71-0,89, що також підтверджує коректність запропонованої моделі.

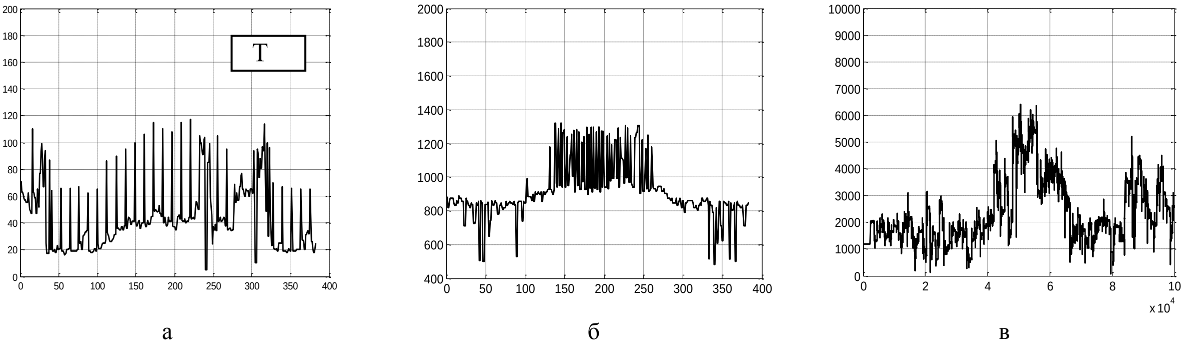


а б

в г

Рис. 2. Графіки змодельованих процесів передачі даних на ділянці мережі

Але основна перевага моделювання фрактального процесу як нелінійної динамічної системи – це можливість визначення форми, інтенсивності і тривалості максимальних флуктуацій реального трафіку по поведінці моделі. Аналіз, проведений по методу найменших квадратів, показав, що модель, яка запропонована, приблизно на 12% точніше відображає характер найбільш мінливих ділянок телекомунікаційного трафіку (ізольовані піки або горби, їх амплітуду та тривалість) в порівнянні з моделями, що існують, в той же час зберігаючи прийнятну відповідність з реальним трафіком і існуючими моделями по такій характеристики трафіку як показник Херста.



а б в

Рис. 3. Графіки реальних телекомунікаційних трафіків гетерогенної мережі

Висновки

1. В результаті проведеного аналізу хаотичних відображень встановлено, що з'явилась можливість побудови моделі пакетного трафіку як нелінійної динамічної системи. При розгляді одномірного відображення було сформульовано ітераційний процес генерації пакетного трафіку.

Була проведена оцінка збіжності ітераційного процесу та встановлено, що у разі шматково-лінійних відображень можливо провести генерацію трафіку, який є аналогом уривчастого пуасонівського процесу.

2.В результаті проведених досліджень нелінійних динамічних систем встановлена можливість створити модель трафіку гетерогенної комп'ютерної мережі, засновану на його уявленні у вигляді солетоноподібних функцій, які є результатом вирішення нелінійних диференційних рівнянь Кортевега – де Вріза.

3.Аналіз рішення рівнянь КДВ і застосовності їх для моделювання поведінки фрактального трафіку продемонстрував, що найбільший виграш у використанні такої моделі (до 12%) можна отримати у разі вивчення і прогнозування поведінки найбільш мінливих ділянок телекомунікаційного трафіку (ізольовані піки або горби, їх амплітуда і тривалість) в порівнянні з тими, що існують, в той же час зберігаючи прийнятну відповідність з реальним трафіком і існуючими моделями за такою характеристикою трафіку як показник Херста.

Список літератури

1. *Beran J. Variable Bit Rate Video Traffic and Long Range Dependence / J. Beran,, R. Sherman., M.S. Taqqu and W. Wlinger // IEEE/ACM Trans on Networking, subject to revision. – 1992.*
2. *Tutschku K. Traffic estimation and characterization for the design of mobile communication networks / K Tutschku., T. Leskien. and P. Tran-Gia // COST257TD(97)47. – 1997.*
3. *Schuster H.G. Deterministic Chaos: An Introduction / H.G. Schuster. – 2nd Edition. – NewYork: VCH, 1988.*
4. *Фрактальный анализ процессов, структур и сигналов: Коллективная монография / Г.А. Кучук, А.А. Можаев, Р.Э. Пащенко, К.М. Руккас // – Х.: ЭкоПерспектива, 2006. – 360 с.*
5. *Кучук Г.А. Управління трафіком мультисервісної розподіленої телекомунікаційної мережі / Г.А.Кучук // Системи управління, навігації та зв'язку. – 2007. – Вип. 2.– С. 18-27.*
6. *Можаєв О.О. Моделювання трафіка телекомунікаційних мереж на базі масштабної інваріантності / О.О. Можаєв // Збірник наукових праць Харківського університету Повітряних Сил. – Х.: ХУ ПС, 2006. – Вип. 6(12). – С. 79-82.*
7. *Можаев А.А. Оценка достоверности определения параметров телекоммуникационнного трафика / А.А. Можаев // Системи обробки інформації Збірник наукових праць. – Х.:ХУ ПС, 2006. – Вип.9(58). – С. 53-55.*
8. *Кучук Г.А. Прогнозирование трафика для управления перегрузками интегрированной телекоммуникационной сети / Г.А. Кучук, О О. Можаєв // Радіоелектронні і комп'ютерні системи. – 2007. – № 8(27). – С. 261 – 271.*

Надійшла до редколегії 27.06.2012

Рецензент: д-р техн. наук, проф. О.І. Стрелков, Харківський університет Повітряних Сил ім. І. Кожедуба, Харків.

ПРИМЕНЕНИЕ МАТЕМАТИЧЕСКОГО АППАРАТА НЕЛИНЕЙНЫХ ДИНАМИЧЕСКИХ СИСТЕМ ПРИ МОДЕЛИРОВАНИИ ТРАФИКА В ГЕТЕРОГЕННЫХ СЕТЯХ

А.А. Можаев

Проведен анализ гетерогенной компьютерной сети. Одной из основных черт трафика гетерогенной сети является существенная нестабильность трафика, его изменчивость, которая является следствием несогласованного взаимодействия составных частей интегрального трафика. Рассмотрена возможность моделирования пакетного телекоммуникационного трафика с помощью теории хаоса и хаотических отображений. Проведено моделирование фрактального процесса солитоноподобными функциями. В результате проведенных исследований нелинейных динамических систем установлена возможность создания модели трафика гетерогенной компьютерной сети, основанная на его представлении в виде солитоноподобных функций, которые являются решениями нелинейных дифференциальных уравнений Кортевега-де Вриз.

***Ключевые слова**: гетерогенная сеть, пакетный трафик, хаос, солитоны, гамильтована система, фрактальный процесс, солитоноподобные функции, нелинейные динамические системы, кноидальна волна.*

APPLICATION OF MATHEMATICAL APPARATUS OF NONLINEAR DYNAMICAL SYSTEMS TO TRAFFIC SIMULATION IN HETEROGENEOUS NETWORKS

A.A. Mozhaev

The analysis of a heterogeneous computer network is carried out. One of the main features of the heterogeneous network traffic is significant instability and variability, which is the result of inconsistent interaction of integrated traffic components. The possibility of modeling packet telecommunication traffic using chaos theory and chaotic transformations. The modeling process of fractal solitone functions is developed. The research is resulted in understanding possibility of creation of heterogeneous computer network traffic model based on its representation in the form of solitone functions as solution of KdV nonlinear differential equations.

***Keywords**: heterogeneous network packet traffic chaos, solitons, hamiltonian system, fractal process, solitone functions , nonlinear dynamical systems knoidal wave.*