УДК 004.94; 681.5.015; 519.673

О.Г. СЛАВКО

Кременчуцький національний університет імені Михайла Остроградського, Україна

ІДЕНТИФІКАЦІЯ УЗАГАЛЬНЕНИХ ПАРАМЕТРІВ МАТЕМАТИЧНОЇ МОДЕЛІ КОМП'ЮТЕРНОЇ МЕРЕЖІ В ЗАДАЧІ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ QOS

Розглянуто проблему забезпечення якості обслуговування (Quality of Service, QoS) мережевого трафіка в комп'ютерній мережі. Реалізовано метод ідентифікації узагальнених параметрів математичної моделі комп'ютерної мережі з використанням особливостей синтезу еквіваленту невідомого зовнішнього збурення. Виконано порівняльний аналіз реалізованого методу ідентифікації узагальнених параметрів та деяких інших класичних методів параметричної ідентифікації математичних моделей мережі для підтримки належного рівня якості обслуговування.

Ключові слова: *мережевий трафік, параметрична ідентифікація, якість обслуговування трафіка.*

Вступ

Специфіка сучасних інформаційних потоків вимагає від середовища передачі даних дотримання жорстких правил якості обслуговування (Quality of Service, QoS) – здатності мережевих засобів забезпечувати потрібний сервіс для певних класів трафіка (голосові пакети, відео, трафік протоколів HTTP / FTP (Hypertext Transfer Protocol / File Transfer Protocol), трафік баз даних та ін.) в різних мережевих середовищах, від якої, в свою чергу, залежить якість даних, що передаються. Забезпечення та підтримка належного рівня QoS для різнопріоритетного трафіку є на сьогодні важливою практичною проблемою.

Проблема забезпечення QoS надзвичайно активно досліджується протягом останніх років. На сьогодні розроблено велику кількість механізмів контролю QoS [1], особливо у сфері пакетного планування (Packet Scheduling) і керування чергами (Queue Management), розроблено архітектури (Integrated Services, Differentiated Services) й алгоритми для гнучкого обслуговування та контролю адаптивних мультимедійних даних та ін. [2, 3]. Контроль за параметрами трафіка (швидкість та затримки передачі даних, рівень втрати пакетів та ін.), що складається із системи контролю за діями користувачів і системи контролю за мережею, визначається як сукупність дій мережі стосовно уникнення перевантажень, а контроль за перевантаженнями – як сукупність заходів щодо зменшення тривалості стану перевантаження та мінімізації його наслідків.

Керування мережевим трафіком неможливе без наявності аналітичних моделей мережі та трафіка. Розробка та застосування адекватних методів ідентифікації трафіка дозволяє ефективніше використовувати мережеві ресурси і забезпечувати належну якість обслуговування мережевим додаткам. Отже існує проблема параметричної ідентифікації математичних моделей мережі та трафіка та проблема вибору прийнятного методу ідентифікації мережевого трафіка в умовах параметричної невизначеності мережі.

Постановка задачі дослідження

Метою роботи є реалізація методу ідентифікації узагальнених параметрів математичної моделі комп'ютерної мережі в умовах параметричної невизначеності мережі та проведення порівняння реалізованого методу та деяких класичних методів параметричної ідентифікації в задачі забезпечення належної якості обслуговування.

Об'єктом дослідження є мережевий трафік. Предметом дослідження є методи ідентифікації характеристик трафіку для підтримки QoS. Як метод дослідження обрано імітаційне моделювання динаміки мережі для отримання значень характеристик мережевого трафіка під час його проходження через компоненти мережі для подальшого застосування в процедурах параметричної ідентифікації.

Задачами дослідження є:

1) створення імітаційної моделі комп'ютерної мережі, проведення імітаційного моделювання для дослідження динаміки мережі та трафіка;

2) обчислювальна реалізація методу ідентифікації узагальнених параметрів математичної моделі комп'ютерної мережі в умовах параметричної невизначеності та реалізація деяких класичних методів параметричної ідентифікації;

3) визначення прийнятного методу ідентифікації параметрів математичної моделі мережі в задачі забезпечення необхідної якості обслуговування.

У даній роботі комп'ютерна мережа розглядається як об'єкт, керування яким здійснюється на базі протоколу TCP (Transmission Control Protocol).

Згідно [4], вважаємо, що динаміка TCP-протоколу та черги може бути описана диференціальним рівнянням другого порядку, лінеаризованим відносно стану рівноваги:

$$\delta\ddot{b}(t) = A_1 \cdot \delta b(t) + A_2 \cdot \delta\dot{b}(t) + B \cdot \delta p\left(t - \tau^*\right), \quad (1)$$

де t – час; τ^* – рівноважне значення половини RTT-затримки (Round Trip Time); A_1, A_2, B – коефіцієнти, що визначаються структурою та характеристиками мережі; $b(t)$ – рівень зменшення вихідної середньої довжини черги; $p(t)$ – функція ймовірності відкидання вхідних пакетів.

Коефіцієнти A_1, A_2, B згідно [4] обчислюються за формулами:

$$A_1 = -\frac{2cN}{\tau^*\left(2N^2 + c^2\tau^{*2}\right)},$$

$$A_2 = -\frac{\left(2cN\tau^* + 2N^2 + c^2\tau^{*2}\right)}{\tau\left(2N^2 + c^2\tau^{*2}\right)},$$

$$B = -\frac{\left(2N^2 + c^2\tau^{*2}\right)}{2\tau^{*2}N},$$

де c – пропускна здатність лінії зв'язку (пакети/с); N – кількість TCP-джерел (постійна у часі); τ – половина значення RTT-затримки (с); τ^* – рівноважне значення половини RTT-затримки (с).

Обчислення коефіцієнтів A_1, A_2, B не завжди є можливим, оскільки в процесі реального функціонування комп'ютерної мережі її конфігурація може змінюватись, і в цьому випадку потрібна достатньо швидка реакція на зміни, що відбулись у системі. Отже, ці коефіцієнти необхідно ідентифікувати, оскільки саме ідентифікація в реальному часі відповідає вимогам ефективного керування мережевим трафіком для забезпечення QoS.

Для імітаційного моделювання розроблено математичну модель трафіка з використанням розподілу Парето, що є найбільш поширеним при моделюванні поведінки мережевого трафіка та враховує властивість самоподібності.

Щільність розподілу Парето визначається як:

$$f(x) = \begin{cases} (\alpha - 1)x_m^{\alpha-1}/x^\alpha, & x \ge x_m; \\ 0, & x < x_m, \end{cases} \quad (2)$$

де α, x_m – параметри розподілу.

Функція розподілу Парето має вигляд:

$$F(x) = 1 - (x_m/x)^\alpha .$$

Приклад змодельованого мережевого трафіка зображено на рис. 1:

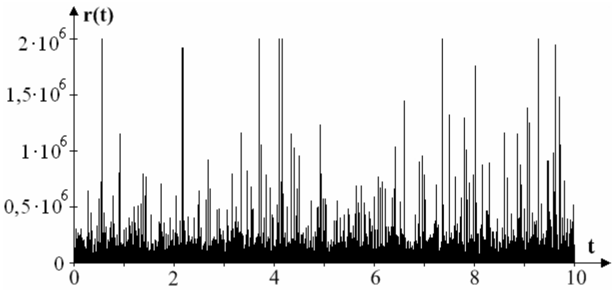

Рис. 1. Залежність інтенсивність передачі даних $r(t)$ (Кбіт/с) від часу t (с)

На основі математичної моделі мережевого трафіка (2) та аналітичної моделі мережі (1) в середовищі пакету MATLAB / Simulink було розроблено імітаційну модель комп'ютерної мережі (рис. 2), та проведено імітаційне моделювання її функціонування.

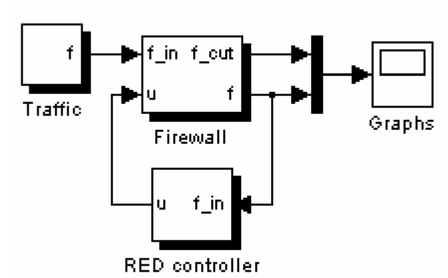

Рис. 2. Загальна схема імітаційної моделі комп'ютерної мережі

Розроблена імітаційна модель комп'ютерної мережі складається з наступних блоків:

1) блок "Traffic" формує поточне значення вхідного трафіка $r(t)$ на основі (2);

2) блок "Firewall" виконує функції фільтру мережевого трафіка, формуючи значення вихідного трафіка за допомогою керуючого сигналу $u(t)$, що надходить до нього від блоку RED-контролера (Random Early Detection);

3) блок "RED controller" функціонує згідно алгоритму RED-контролеру, за якого вхідні пакети даних відкидаються з ймовірністю $p(t)$, що пропорційна середній довжині черги $q(t)$ [5].

На рис. 3 наведено приклад результату імітаційного моделювання функціонування розробленої моделі комп'ютерної мережі з використанням RED-контролера. На рис. 4 наведено приклад функції ймовірності відкидання пакетів $p(t)$, значення якої використовувались для проведення процедур параметричної ідентифікації рівняння (1).

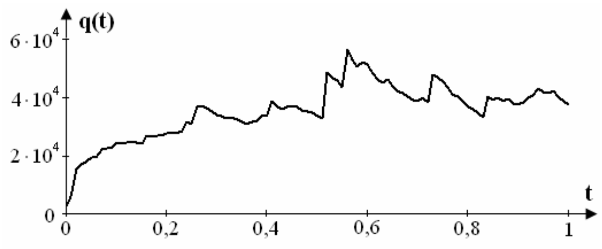

Рис. 3. Залежність значень середньої довжини черги q(t) (Кбайт/с) від часу t (с)

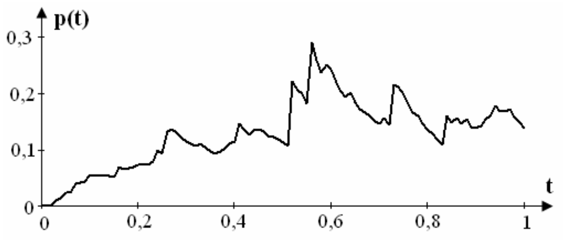

Рис. 4. Залежність значень функції ймовірності відкидання пакетів p(t) від часу t (с)

Розробка методу ідентифікації узагальнених параметрів математичної моделі

Представимо диференціальне рівняння (1) у стандартному вигляді:

$$y''(t)+a_1y'(t)+a_0y(t)=p(t), \qquad (3)$$

де t – час (с); a_1, a_0 – коефіцієнти, що визначаються структурою та характеристиками мережі та підлягають ідентифікації; y(t) – рівень зменшення вихідної середньої довжини черги q(t); p(t) – функція ймовірності відкидання вхідних пакетів.

В роботі [6] запропоновано метод ідентифікації узагальнених параметрів математичної моделі об'єкта керування, розроблений з використанням особливостей методу активно-резонансного керування динамічними системами [7], який базується на алгоритмі синтезу еквіваленту невідомого зовнішнього збурення. На відміну від класичних методів керування, основна ідея описаного в [7] методу полягає в тому, що математична модель об'єкта керування синтезується в реальному часі у вигляді еквіваленту невідомого зовнішнього збурення, що діє на об'єкт керування. Таким чином, створюється неявна математична модель об'єкта керування, що дозволяє синтезувати керуючий сигнал за умови недостатньої інформації про керований процес.

Розроблений в [6] метод дозволяє спростити ідентифікацію параметрів об'єкта керування в реальному часі за рахунок інтегрування її в алгоритм синтезу еквіваленту невідомого зовнішнього збурення. В даній роботі на основі [6] розробляється метод ідентифікації узагальнених параметрів комп'ютерної мережі в умовах параметричної невизначеності в задачі забезпечення QoS.

Будемо вважати, що p(t) задовольняє вимогам розкладання в ряд Тейлора та біля $t_0=0$ може бути представлена у вигляді:

$$p(t)=p(t_0)+\frac{p'(t_0)}{1!}\Delta h+ +\frac{p''(t_0)}{2!}\Delta h^2+\ldots+\frac{p^{(n)}(t_0)}{n!}\Delta h^n+\ldots \qquad (4)$$

З урахуванням (4) складемо систему K рівнянь $(K\ge 4)$ для знаходження невідомих параметрів $a_1, a_0, f(t_0), p'(t_0), p''(t_0),\ldots,p^{(K-3)}(t_0)$:

$$y''(H_j)+a_1y'(H_j)+a_0y(H_j)= =p(t_0)+\sum_{n=1}^{K-3}\frac{p^{(n)}(t_0)}{n!}(H_j)^n, \qquad (5)$$

$$j=1\ldots K,\ H_j=j\cdot\Delta h.$$

Для отримання похідних $y'(t_i), y''(t_i)$ використовуємо методи чисельного диференціювання на основі отриманих дискретних значень $y(t_i)$. Розв'язавши систему (5), отримаємо початкові значення невідомих параметрів a_1, a_0 рівняння (3) в нульовий момент часу t_0.

Для уточнення значень ідентифікованих параметрів на наступних кроках загального алгоритму синтезу еквіваленту невідомого зовнішнього збурення p(t) для диференціальних рівнянь пропонується використовувати еквівалент зовнішнього збурення. Згідно алгоритму синтезу еквіваленту невідомого зовнішнього збурення [7] в моменти часу t_0 та t_1 керування об'єктом, що описаний рівнянням (3), відсутнє $(u(t)=0)$, отже отримується некерована реакція об'єкта. В момент часу t_2 формується "пробне" керування $u(t_2)$, що дозволяє визначити реакцію об'єкта на це тестове керування та сформувати адекватний сигнал керування в наступні моменти часу t_1. Починаючи з моменту часу t_3 на непарних кроках обчислюється значення сигналу керування, що є еквівалентом сигналу зовнішнього збурення p(t) в поточний момент часу t_1. На парних кроках сигнал керування є рівним сигналу керування на попередньому (непарному) кроці.

Складаємо систему двох рівнянь для двох послідовних дискретних моментів часу на основі диференціального рівняння (3), замінюючи невідому функцію збурення p(t) її еквівалентом u(t). Таким чином, отримуємо систему для визначення параметрів рівняння на поточному часовому кроці t_1:

$$\begin{cases} y''(t_{i-1})+a_1y'(t_{i-1})+a_0y(t_{i-1})=2u(t_{i-1}); \\ y''(t_i)+a_1y'(t_i)+a_0y(t_i)=2u(t_i). \end{cases} \qquad (6)$$

Легко отримати розв'язок (6), наприклад, в аналітичному вигляді або у матричній формі:

$$A = \begin{pmatrix} y'(t_{i-1}) & y(t_{i-1}) \\ y'(t_i) & y(t_i) \end{pmatrix},$$

$$B = \begin{pmatrix} 2u(t_{i-1}) - y''(t_{i-1}) \\ 2u(t_i) - y''(t_i) \end{pmatrix}, \qquad X = \begin{pmatrix} \tilde{a}_1 \\ \tilde{a}_0 \end{pmatrix},$$

$$X = A^{-1} \cdot B. \qquad (7)$$

Розв'язавши рівняння (7) отримаємо уточнені значення параметрів a_1, a_0 рівняння (3) в момент часу t_i синтезу еквіваленту зовнішнього збурення.

Реалізація методів параметричної ідентифікації математичної моделі

Для ідентифікації мережевого трафіка використовують структурно-параметричну ідентифікацію з використанням статистичного аналізу, нечіткої логіки, методів випадкового та селективного шуму, математичний апарат інтегро-диференціального числення, нейромережевий підхід, методи реконструкції атракторів динамічних процесів та ін. Методи, що використовуються для ідентифікації трафіка або параметрів моделі мережі, в основному залежать від мети, з якою має бути здійснена ідентифікація, та обираються залежно від конкретних практичних задач.

В даній роботі в середовищі пакету MathCAD реалізовано класичні математичні методи параметричної ідентифікації:

1) Метод чисельного диференціювання [8].

За означенням похідна функції y(t) в точці t дорівнює:

$$\frac{d}{dt} y(t) = \lim_{\Delta t \to 0} \frac{dy}{dt} = \lim_{\Delta t \to 0} \frac{y(t+\Delta t) - y(t)}{\Delta t}.$$

Наближене значення похідних, що присутні у рівнянні, яке описує динаміку системи, можна обчислювати шляхом чисельного диференціювання за сусідніми значеннями функції y(t). Нехай t_μ та $t_{\mu l+1}$ – сусідні точки, що різняться лише i-ю координатою. Тоді величина $(y_{\mu+1} - y_\mu)/(t_{\mu+1,i} - t_{\mu,i})$ є наближеним значенням похідної $dy(t_i)/dt_i$ у цій області. Таким чином рівняння (3) можна представити у вигляді:

$$\frac{y(t)_{\mu+2} - 2y(t)_{\mu+1} + y(t)_\mu}{t_{\mu+2} - 2t_{\mu+1} + t_\mu} + a_1 \frac{y(t)_{\mu+1} - y(t)_\mu}{t_{\mu+1} - t_\mu} + a_0 y(t) = p(t),$$

де a_1, a_0 – коефіцієнти, що підлягають ідентифікації.

2) Метод чисельного інтегрування.

Іноді диференціальне рівняння можна проінтегрувати за всіма похідними, що присутні в цьому рівнянні. Таким чином, диференціальне рівняння перетворюється на інтегральне. Для отримання значень інтегралів, що з'являються у рівнянні, здійснюють чисельне інтегрування даних.

Диференціальне рівняння (3) перетворюється на систему диференціальних рівнянь першого порядку:

$$\begin{cases} \dfrac{dy(t)}{dt} = z(t); \\ \dfrac{dz(t)}{dt} + a_1 z(t) + a_0 y(t) = f(t). \end{cases}$$

Після інтегрування обох рівнянь системи отримаємо:

$$\begin{cases} \displaystyle\int_0^T z(t)dt = y(T) - y(0); \\ \displaystyle\int_0^T \frac{\partial z(t)}{\partial t} dt + a_1 \int_0^T z(t)dt + a_0 \int_0^T y(t)dt = \int_0^T f(t)dt. \end{cases}$$

Підставимо результат інтегрування першого рівняння системи в друге рівняння:

$$\int_0^T \frac{dz(t)}{dt} dt + a_1 \big(y(T) - y(0)\big) + + a_0 \int_0^T y(t)dt = \int_0^T f(t)dt. \qquad (8)$$

Введемо позначення:

$$\int_0^T y(t)dt = Iy, \qquad \int_0^T f(t)dt = If.$$

Отже, (8) можна представити у вигляді:

$$\int_0^T \frac{dz(t)}{dt} dt + a_1 \big(y(T) - y(0)\big) + a_0 \cdot Iy = If. \qquad (9)$$

Після чисельного інтегрування та диференціювання (9), отримаємо:

$$\frac{y(T+\Delta t) - y(T) - y(1) + y(0)}{\Delta t} + +a_1 \big(y(T) - y(0)\big) + a_0 \cdot Iy = If,$$

де a_1, a_0 – коефіцієнти, що підлягають ідентифікації.

3) Аналітичний розв'язок рівняння.

Диференціальне рівняння (3) є лінійним неоднорідним диференціальним рівнянням другого порядку зі сталими коефіцієнтами. Праву частину цього рівняння можна представити у вигляді:

$$e^{\alpha \cdot x} P_n(x), \qquad (10)$$

де α – дійсне число; $P_n(x)$ – багаточлен степеня n.

Отже, рівняння (3) має спеціальну праву частину. Якщо права частина рівняння (3) має вигляд (10), то частинний розв'язок цього рівняння треба шукати у вигляді:

$$y^* = x^r e^{\alpha \cdot x} Q_n(x),$$

де $Q_n(x)$ – багаточлен із невизначеними коефіцієнтами того самого степеня, що й багаточлен $P_n(x)$; r – число коренів характеристичного рівняння $k^2 + p \cdot k + q = 0$, які дорівнюють α.

Нехай α не є коренем характеристичного рівняння, тоді $r = 0$. Отже, частинний розв'язок рівняння (3) має вигляд:

$$y^* = e^{\alpha \cdot x} Q_n(x),$$

де α, $Q_n(x)$ підлягають ідентифікації.

4) Метод статистичної динаміки [58].

Розглянемо динамічну систему, що описана рівнянням (3). Нехай її вхідною змінною x(t) є значення функції ймовірності відкидання пакетів p(t), а вихідною змінною y(t) – значення рівня зменшення вихідної середньої довжини черги q(t).

Для об'єкта керування, яким є комп'ютерна мережа, описана рівнянням (3), імпульсну перехідну функцію $h^*(t)$ можна визначити за відомою автокореляційною функцією $R_x(\tau)$ виходу об'єкта та взаємокореляційною функцією між входом та виходом об'єкта $R_{xy}(\tau)$ з інтегрального рівняння Вінера-Хопфа:

$$R_{xy}(\tau) = \int_0^{\infty} R_x(\tau - t) h^*(t) dt. \quad (11)$$

Автокореляційною функцією $R_x(\tau)$ для функції x(t) наближено є інтеграл:

$$R_x(\tau) = \frac{1}{2T} \int_{-T}^{T} x(t) x(t+\tau) dt. \quad (12)$$

Взаємокореляційною функцією $R_{xy}(\tau)$ для функцій x(t) та y(t) наближено є інтеграл:

$$R_{xy}(\tau) = \frac{1}{2T} \int_{-T}^{T} x(t) \cdot y(t+\tau) dt. \quad (13)$$

Для обчислення $R_x(\tau)$ необхідно розділити проміжок $2T$ на $2N$ малих інтервалів Δ. Нехай t та τ приймають дискретні значення, кратні Δ: $t = \nu\Delta$, $\nu = 1, 2, 3....$, $\tau = \mu\Delta$, $\mu = 0, 1, 2, ...$. При цьому інтеграл (12) може бути представленим у вигляді суми:

$$R_x(\tau) = R_x(\mu\Delta) = \\ = \frac{1}{2N+1} \sum_{\nu=-N}^{N} x(\nu\Delta) x((\nu+\mu)\Delta).$$

Обмежившись інтегруванням в інтервалі T замість $2T$, і прийнявши до уваги, що при $\nu \ge N - \mu$ маємо $x((\nu+\mu)\Delta) = 0$, отримаємо розрахункову формулу:

$$R_x(\tau) \approx \frac{1}{N-\mu} \sum_{\nu=1}^{N-\mu} x(\nu\Delta) x((\nu+\mu)\Delta).$$

Аналогічно розраховується і $R_{xy}(\tau)$ за формулою:

$$R_{xy}(\tau) \approx \frac{1}{N-\mu} \sum_{\nu=1}^{N-\mu} x(\nu\Delta) y((\nu+\mu)\Delta).$$

Після обчислення $R_x(\tau)$ та $R_{xy}(\tau)$ необхідно розв'язати рівняння (11) відносно імпульсної перехідної функції $h^*(t)$. Розв'язок цього рівняння можна звести до розв'язку системи лінійних алгебраїчних рівнянь. Для цього необхідно інтеграл у рівнянні (11) представити у вигляді суми:

$$R_{xy}(\tau) = \sum_{n=0}^{N} R_x(\tau - t) h^*(n\Delta t) \Delta t, \quad (14)$$

де Δt – малий фіксований інтервал часу.

Позначимо $h_n^* = h^*(n\Delta t)$, $h_0^* = 0$ та, обираючи $\tau = \Delta t, 2\Delta t, ..., N\Delta t$, отримаємо N рівнянь (14) для різних значень τ з N невідомими $h^*(\Delta t)$, $h^*(2\Delta t), ..., h^*(N\Delta t)$. Обчисливши ці невідомі, визначимо N точок шуканої перехідної функції $h^*(t)$, які відстають на Δt.

Запишемо систему алгебраїчних рівнянь в матричній формі:

$$A \cdot H^* = Q, \quad (15)$$

де A, H^*, Q – матриці, що визначаються наступним чином:

$$A = \begin{vmatrix} R_x(0) & R_x(\Delta t) & ... & R_x((N-1)\Delta t) \\ R_x(\Delta t) & R_x(0) & ... & R_x((N-2)\Delta t) \\ R_x(2\Delta t) & R_x(\Delta t) & ... & R_x((N-3)\Delta t) \\ ... & ... & ... & ... \\ R_x((N-1)\Delta t) & R_x((N-2)\Delta t) & ... & R_x(0) \end{vmatrix}$$

$$H^* = \begin{vmatrix} h_1^* \\ h_2^* \\ h_3^* \\ ... \\ h_n^* \end{vmatrix}, \qquad Q = \begin{vmatrix} q_1 \\ q_2 \\ q_3 \\ ... \\ q_n \end{vmatrix},$$

де члени матриці Q визначаються nfrим чином:

$$q_i = \frac{R_{xy}(i\Delta t)}{\Delta t}.$$

Рівняння (15) розв'язуються відомими методами. Для об'єкта, динаміка якого описується лінійним диференціальним рівнянням другого порядку

(3), імпульсна перехідна функція $h^*(t)$ згідно з [10] має вигляд:

$$h^*(t)=\frac{k}{T}\cdot\frac{e^{-\frac{\xi}{T}\cdot t}}{\sqrt{1-\xi^2}}\sin\frac{\sqrt{1-\xi^2}}{T}t,$$

де k – коефіцієнт перетворення; T – постійна часу; ξ – коефіцієнт затухання.

Ці коефіцієнти є невідомими і підлягають ідентифікації.

Зв'язок k, T, ξ з коефіцієнтами диференціального рівняння згідно з [10] наступний: $a_2 = T^2$, $a_2 = 2\xi$, $b = k$, при цьому $a_0 = 1$. Отже, відшукавши коефіцієнти k, T, ξ можемо знайти коефіцієнти рівняння (3).

Оцінка невідомих коефіцієнтів для методів чисельного диференціювання, чисельного інтегрування та аналітичного розв'язку здійснювалась методом найменших квадратів, який для перерахованих вище методів полягав у мінімізації квадрата відхилення значень функції ймовірності відкидання вхідних пакетів $p(t)$ від значень рівня зменшення вихідної середньої довжини черги $y(t)$ в момент часу t_i :

$$\sum_i \left(y(t_i)-p(t_i)\right)^2 \to 0 .$$

На рис. 5 наведено приклад розв'язку диференціального рівняння (3) з коефіцієнтами, ідентифікованими реалізованими методами: 1 – розв'язок диференціального рівняння (3) з заданими коефіцієнтами, 2 – метод ідентифікації узагальнених параметрів, 3 – чисельне інтегрування, 4 – аналітичний розв'язок, 5 – чисельне диференціювання, 6 – метод статистичної динаміки.

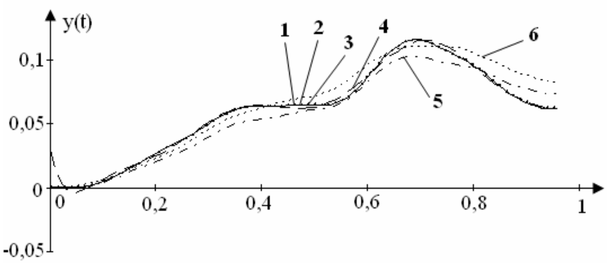

Рис. 5. Приклад результату ідентифікації параметрів моделі реалізованими методами

На рис. 6 наведено графік відносної похибки точності розв'язку рівняння (3) при ідентифікації його коефіцієнтів реалізованими методами: 1 – метод ідентифікації узагальнених параметрів, 2 – аналітичний розв'язок, 3 – чисельне диференціювання, 4 – чисельне інтегрування, 5 – метод статистичної динаміки.

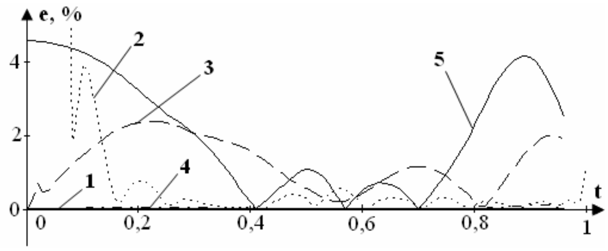

Рис. 6. Значення відносної похибки при ідентифікації параметрів математичної моделі

Висновок

В роботі розроблено та реалізовано метод ідентифікації узагальнених параметрів математичної моделі комп'ютерної мережі на основі алгоритму синтезу еквіваленту невідомого зовнішнього збурення в умовах недостатньої апріорної інформації про мережу. Реалізовано деякі класичні методи параметричної ідентифікації математичної моделі мережі.

В роботі реалізовано імітаційну модель керованої комп'ютерної мережі з використанням RED-контролера. Проведено порівняльний аналіз точності реалізованих методів ідентифікації параметрів на прикладі даних, отриманих при проведені імітаційного моделювання функціонування розробленої комп'ютерної мережі.

Показано, що найбільшу точність ідентифікації параметрів комп'ютерної мережі при нульових початкових умовах забезпечує метод ідентифікації узагальнених параметрів математичної моделі.

Реалізований метод ідентифікації узагальнених параметрів є найбільш простим у реалізації і швидкодіючим, оскільки не потребує спеціальних перетворень математичної моделі мережі (3), базуючись на алгоритмі синтезу еквіваленту невідомого зовнішнього збурення.

Визначено, що серед реалізованих класичних методів найбільшу точність ідентифікації параметрів динамічної системи, що описує поведінку мережі (3), забезпечують метод аналітичного розв'язку та метод чисельного інтегрування, однак їх точність менша, ніж точність методу ідентифікації узагальнених параметрів на основі синтезу еквіваленту зовнішнього збурення.

Таким чином, в даній роботі вперше запропоновано використовувати розроблений метод ідентифікації узагальнених параметрів для ідентифікації параметрів математичної моделі TCP-протоколу, описаної диференціальним рівнянням.

В роботі розроблено та апробовано математичне забезпечення ідентифікації параметрів математичної моделі комп'ютерної мережі Ethernet запропонованим методом ідентифікації узагальнених параметрів та рядом класичних методів, що може бути використане в процесі створення утиліт для керування мережевим трафіком в задачі забезпечення належного рівня QoS.

Література

1. Wang Z. Internet QoS: Architectures and Mechanisms for Quality of Service / Z. Wang // The Morgan Kaufmann Series in Networking, 2001.– P. 240.

2. Barden R. Integrated Services in the Internet Architecture: an Overview. [Електронний ресурс] / R. Barden, D. Clark, S. Shenker // Internet Request For Comments (RFC) 1633, Internet Engineering Task Force. – 1994. – 33 p. – Режим доступу: http://www.rfc-archive.org/getrfc.php?rfc=1633.

3. An Architecture for Differentiated Services. [Електронний ресурс] / S. Blake et al. // Internet Request For Comments (RFC) 2475, Internet Engineering Task Force. – 1998. – 36 p. – Режим доступу: http://www.rfc-archive.org/getrfc.php?rfc=2475.

4. Ki Baek Kim. Design of Feedback Controls Supporting TCP based on Modern Control Theory / Kim Baek Ki // INRIA Rocquencourt, Report No. 5014, Nov. 2003. – 37 p.

5. Столлингс В. Современные компьютерные сети. 2-е издание / В. Столлингс. – С.Пб.: Питер, 2003. – 783 с.

6. Славко О.Г. Алгоритм ідентифікації узагальнених параметрів в системах з активно-резонансним керуванням / О.Г. Славко // Проблеми інформатизації та управління: зб. наук. пр. – Вип. 1(29). – К.: НАУ., 2010. – С. 159-163.

7. Гученко М.І. Активно-резонансний алгоритм стабілізації / М.І. Гученко // Нові технології. Наук. вісн. Інституту економіки та нових технологій ім. Ю.І. Кравченка. – 2003. – № 1(2). – С. 57-61.

8. Бард Й. Нелинейное оценивание параметров / Й. Бард. – М.: Статистика, 1979. – 349 с.

9. Курсовое и дипломное проектирование по автоматизации производственных процессов: учеб. пособие для вузов по спец. "Автоматизация и комплексная механизация химико-технологических процессов" / Петров И.К., Перлин Д.П., Тюльпанов М.С., Козлов М.В.; под ред. И.К. Петрова. – М.: Высш. шк., 1986. – 352 с.

10. Справочное пособие по теории систем автоматического регулирования и управления; под общ. ред. Е.А. Санковского. – Мн.: Вышэйш. шк., 1973. – 584 с.

Поступила в редакцию 17.09.2010

Рецензент: д-р тех. наук, проф., проф. каф. верстатів і верстатних комплексів О.Ф. Саленко, Кременчуцький національний університет імені Михайла Остроградського, Кременчук.

ИДЕНТИФИКАЦИЯ ОБОБЩЕННЫХ ПАРАМЕТРОВ МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ КОМПЬЮТЕРНОЙ СЕТИ В ЗАДАЧЕ ОБЕСПЕЧЕНИЯ QOS

Е.Г. Славко

Рассмотрена проблема обеспечения качества обслуживания (Quality of Service, QoS) сетевого трафика в компьютерной сети. Реализован метод идентификации обобщенных параметров математической модели компьютерной сети с использованием особенностей синтеза эквивалента неизвестного внешнего возмущения. Выполнен сравнительный анализ реализованного метода идентификации обобщенных параметров и некоторых других классических методов параметрической идентификации математических моделей сети для поддержки надлежащего уровня качества обслуживания.

Ключевые слова: сетевой трафик, параметрическая идентификация, качество обслуживания трафика.

IDENTIFICATION OF GENERALIZED PARAMETERS OF A COMPUTER NETWORK MATHEMATICAL MODEL IN A QOS PROVIDING TASK

O.G. Slavko

Problem of a network traffic quality of service (QoS) providing in a network is overviewed. Method of a generalized parameters identification of a network mathematical model on a base of using of equivalent synthesis features of unknown external disturbance is created. Comparative analysis of a created method of generalized parameters identification and some other classical method of a parametric identification of network mathematical models for a QoS providing is done.

Key words: network traffic, parametric identification, traffic quality of service.

Славко Олена Геннадіївна – аспірант кафедри комп'ютерних та інформаційних систем Кременчуцького національного університету імені Михайла Остроградського, Кременчук, Україна, e-mail: slavko.elena@gmail.com.