

УДК 004.67

DOI: 10.32626/2308-5916.2024-25.114-128

В. А. Федорчук*, д-р техн. наук, професор,**В. А. Іванюк***, д-р техн. наук,**А. А. Верлань****, ***, д-р техн. наук**В. О. Тихоход****, канд. техн. наук

*Кам'янець-Подільський національний університет імені Івана Огієнка, м. Кам'янець-Подільський,

** Національний технічний університет України

«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського», м. Київ,

*** Норвезький університет науки і технологій, м. Йовік, Норвегія

АНАЛІЗ ДАНИХ ТЕПЛОВОГО РЕЖИМУ КОМУТАЦІЙНОГО ОБЛАДНАННЯ КОМП'ЮТЕРНИХ МЕРЕЖ НА ОСНОВІ ВІДНОВЛЕННЯ СИГНАЛІВ ТЕМПЕРАТУРНИХ ДАТЧИКІВ

У статті розглядається задача аналізу розподілених даних температурних режимів чипів комутаційного обладнання комп'ютерних мереж. Для цього використовується система вимірювання температури з використанням датчика температури. У випадку, коли датчик температури знаходиться всередині чипа швидкість реакції вимірювальної системи на зміну температури є задовільною. Однак, коли датчик знаходиться зовні чипа, із-за інертності теплового контакту, швидкість реакції вимірювальної системи є низькою. В цій ситуації ефективність системи контролю стає незадовільною. Для подолання інертності датчиків температури пропонується проводити аналіз розподілених даних, які надходять в цифровому виді на сервер обробки даних шляхом відновлення спотворених сигналів нелінійних вимірювальних підсистем «чип – датчик температури» на основі використання їх математичних моделей у вигляді частинної суми інтегро-степеневого ряду Вольтерри. Ідентифікація математичної моделі вимірювальної підсистеми проводиться на скінченному проміжку часу шляхом проведення серії експериментів із використанням тестових сигналів. Розглянуто метод скорочення кількості тестових сигналів на основі врахування специфіки впливу нелінійності на результат експериментів. Отримана модель є основою для розв'язування оберненої задачі відновлення сигналу температурного впливу на вході сенсора. Оскільки ця задача є некоректною, пропонується доповнити модель параметром регуляризації і звести задачу до коректної. Для використання моделі на нескінченному проміжку часу пропонується методика комп'ютерного моделювання з використанням рестартів обчислювальних процесів, які проводяться в декількох потоках із зміщенням їх у часі. Результат обчислень формується шляхом компонування фрагментів з різних потоків. Для перевірки дос-

товірності результатів, які отримуються шляхом застосування розробленого методу приводяться розв'язки модельних задач.

Ключові слова: *аналіз даних, відновлення спотворених сигналів, інтегральні нелінійні моделі, обернені задачі, поліноміальний ряд Вольтерри.*

Вступ. Для підвищення надійності та ефективності функціонування сучасного комунікаційного обладнання одним із дієвих методів є оперативний аналіз і контроль температурного режиму компонент з метою недопущення їх перегріву. Наявне на ринку обладнання, яке використовують для побудови комп'ютерних мереж, зазвичай, не містить вмонтованих датчиків контролю температури, а те, яке їх містить, має високу ціну, тому його використання не завжди є економічно доцільним. У зв'язку з цим, особливо в літній період, коли температура електронних компонент може перевищувати допустимі значення, штучно обмежується трафік через комунікаційне обладнання, що приводить до неефективного його використання. Постає задача модернізації комунікаційного обладнання для вирішення проблеми оперативного реагування на зміну температури окремих компонент, яка суттєво залежить від поточного навантаження. На рис 1 зображено початковий вигляд комутатора (при відкритому корпусі). В конструкції комутатора здійснено зміни (рис. 2), які полягають у тому, що на чипи комутатора встановлено радіатори для кращої тепловіддачі та терморезистори для контролю температури.

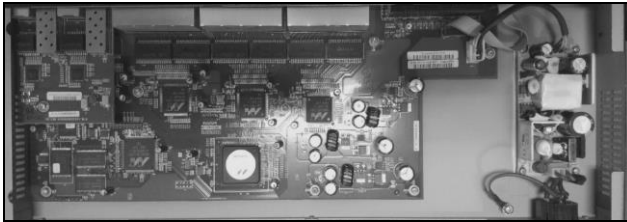


Рис. 1. Мережевий комутатор

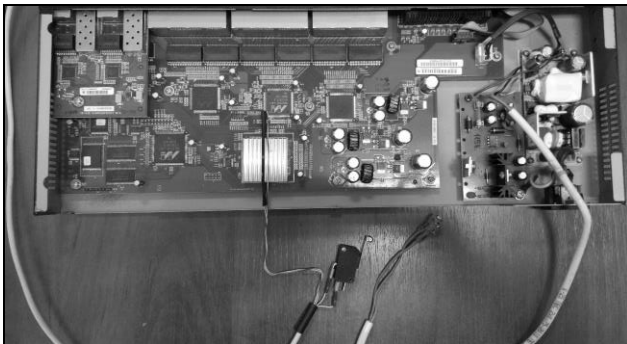


Рис. 2. Мережевий комутатор із конструктивними змінами

Дані, які отримуються з вимірювальних перетворювачів (терморезисторів) кодуєтся з аналогового виду в цифровий за допомогою присутнього в комутаторі аналого-цифрового перетворювача для визначення опору магістральних з'єднань і далі передаються на сервер для аналізу. Отже, для підвищення надійності та ефективності функціонування сучасного комунікаційного обладнання постає задача оперативного аналізу даних, які надходять з великого числа пристроїв комутаційного обладнання комп'ютерної мережі.

Вимірювальна система «чип – температурний сенсор» має властивість розподіленості за просторовою координатою [4, 8]. Це призводить до того, що при вимірюванні температури з'являється затримка між показами вимірювального перетворювача та реальним значенням температури чипу. На рис. 3 наведено графіки показів внутрішнього (всередині чипа) та зовнішнього температурного сенсора, що закріпленій на корпусі чипа. Як видно з графіків, затримка під час реєстрації температури становить близько 5 с, що може бути критичним для процесу оперативного контролю.

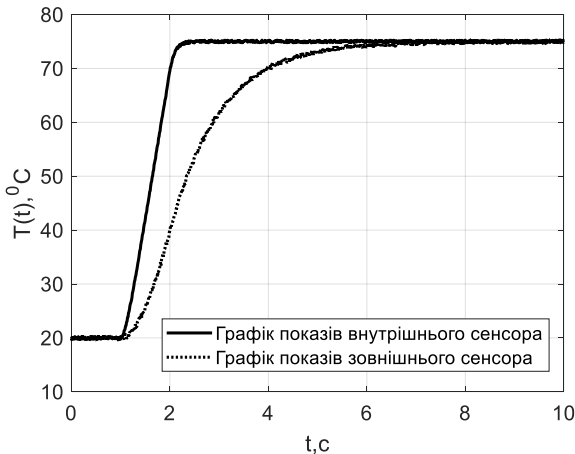


Рис. 3. Графіки результатів виміру температури чипу

Ключовою задачею, що виникає в процесі аналізу даних вимірювання, є задача відновлення вхідних сигналів, яка відноситься до класу обернених некоректних задач. З метою забезпечення необхідної адекватності в багатьох практичних задачах математичні моделі вимірювальних перетворювачів повинні враховувати різні властивості, зокрема нелінійність процесів та розподіленість параметрів у просторі. Врахування таких характеристик значно ускладнює моделі, і як наслідок, програмне забезпечення пристроїв динамічної корекції. Перспективним є використання операторних моделей в інтегральній формі, які

мають ряд позитивних властивостей (висока універсальність, згладжування даних вимірювання, можливість ефективної побудови макромоделей тощо), які у випадку розв'язування задачі відновлення набувають вигляду інтегрального рівняння Вольтерри першого роду.

Виклад основного матеріалу. Базовою інтегральною формою моделі для відновлення сигналів, що отримуються з лінійних вимірювальних перетворювачів є модель:

$$\int_0^t K(\xi, \zeta, t, s) x(\zeta, s) ds = y(\xi, t), \quad (1)$$

де $K(\xi, \zeta, t, s)$ – ядро інтегрального оператора, $y(\xi, t)$ – заданий вихідний сигнал в точці ξ , $x(\zeta, t)$ – шуканий вхідний вплив в точці ζ , $t \in [0, T]$. Використання таких моделей можливе лише для опису лінійних процесів. Для врахування нелінійних властивостей базовою моделлю може розглядатися модель у формі поліноміального інтегрального рівняння Вольтерри першого роду

$$\sum_{m=1}^n \int_0^t \dots \int_0^t K_m(\xi, \zeta, t, s_1, \dots, s_m) \prod_{i=1}^m x(\zeta, s_i) ds_i = y(\xi, t), \quad (2)$$

де $K_m(\xi, \zeta, t, s_1, \dots, s_m)$ – багатовимірні ядра, $x(\zeta, t)$, $y(\xi, t)$ – відповідно вхідний і вихідний сигнали прикладені у точках ζ і ξ розподіленого об'єкта, n – деяке натуральне число, T – час перехідного процесу.

Розробці методів розв'язування рівнянь (2) присвячені дослідження, які, зазвичай, будуються на основі застосування прямих або ітераційних методів [6]. Застосування наявних методів для розробки математичного та програмного забезпечення для пристроїв динамічної корекції вимірювальних перетворювачів є ускладненим через ряд проблем, зокрема, накопичення кількості обчислень під час числової реалізації багатовимірних інтегральних моделей та некоректність задачі, що не дозволяє в достатній мірі відновлювати сигнали за умов наявності високочастотних шумових завад у вхідних даних. Тому актуальною є задача розробки методів розв'язування поліноміальних інтегральних рівнянь, які стануть основою для розробки програмного забезпечення комп'ютеризованих пристроїв аналізу даних і динамічної корекції для вимірювальних перетворювачів.

В якості моделі нелінійного вимірювального перетворювача розглянемо поліноміальне інтегральне рівняння Вольтерри першого роду другого степеня

$$\int_0^t K_1(\xi, \zeta, t, s)x(\zeta, s)ds + \int_0^t \int_0^t K_2(\xi, \zeta, t, s_1, s_2)x(\zeta, s_1)x(\zeta, s_2)ds_1ds_2 = y(\xi, t), \quad (3)$$

де $y(\xi, t)$ – значення, яке отримане з датчика, $x(\zeta, t)$ – шукане значення вимірювання, $K_1(\xi, \zeta, t, s)$ – ядро першого порядку, $K_2(\xi, \zeta, t, s_1, s_2)$ – ядро другого порядку. Ядра інтегрального рівняння (3), в залежності від методу, що використовується, можуть мати різний вигляд: аналітичний вигляд при застосуванні аналітичних методів перетворення інших типів моделей; табличний вигляд – при використанні методів ідентифікації [2, 5]. В даному випадку ядро $K_1(\xi, \zeta, t, s)$ подане в табличному вигляді (вектор), а ядро $K_2(\xi, \zeta, t, s_1, s_2)$ – у вигляді матриці.

Розглянемо метод розв'язування (3) на основі регуляризації моделі.

Регуляризація моделі. У зв'язку з тим, що задача відновлення сигналу є некоректною, а застосування відомих методів та алгоритмів не дає змогу знаходити розв'язки із необхідною точністю для випадку наявності завад у вхідних даних за умов обмеження у часі, оскільки обчислення необхідно проводити в реальному часі, пропонується будувати регуляризаційні алгоритми на основі застосування диференціального регуляризаційного оператора

$$Dx(\zeta, t) = \rho_2 \alpha^2 \frac{d^2 x(\zeta, t)}{dt^2} + \rho_1 \alpha \frac{dx(\zeta, t)}{dt} + \rho_0 \alpha x(\zeta, t), \quad (4)$$

де α – параметр регуляризації, ρ_i – коефіцієнти регуляризації, які визначають порядок оператора, можуть мати значення 0 або 1.

На основі методу модельних експериментів [6] виявлено, що найкращі результати отримуються при використанні диференціального регуляризаційного оператора першого порядку. Тоді розв'язування поліноміального інтегрального рівняння Вольтерри першого роду зводиться до розв'язування поліноміального інтегро-диференціального рівняння:

$$\alpha \frac{dx(\zeta, t)}{dt} + \int_0^t K_1(\xi, \zeta, t, s)x(\zeta, s)ds + \int_0^t \int_0^t K_2(\xi, \zeta, t, s_1, s_2)x(\zeta, s_1)x(\zeta, s_2)ds_1ds_2 = y(\xi, t), \quad (5)$$

де α – параметр регуляризації, пошук якого пропонується здійснювати на основі методу модельних експериментів.

Побудова математичної моделі вимірjuвальної підсистеми. Експериментально виявлено, що вимірjuвальна підсистема «чип – терморезистор» є нелінійною [3], тому модель доцільно будувати у формі частинної суми інтегро-степеневого ряду Вольтерри:

$$y(\xi, t) = \sum_{m=1}^n \int_0^t \dots \int_0^t K_m(\xi, \zeta, s_1, \dots, s_m) \prod_{i=1}^m x(\zeta, t - s_i) ds_i, \quad t \in [0, T], \quad (6)$$

де $K_m(\xi, \zeta, s_1, \dots, s_m)$ – багатовимірні ядра, $x(\zeta, t)$, $y(\xi, t)$ – відповідно вхідний і вихідний сигнали, прикладені у точках ζ і ξ розподіленого об'єкта, n – деяке натуральне число, T – час перехідного процесу. Застосування непараметричних інтегральних моделей (1) має ряд корисних особливостей, а саме: універсальність (описуються також нелінійні об'єкти з розподіленими параметрами); можливість розв'язування некоректних обернених задач на основі методів регуляризації; обчислювальна стійкість (особливо це актуально при наявності високочастотних завад у вхідних даних) [9].

Методику ідентифікації ядер інтегральної моделі (2) нелінійного динамічного об'єкту розглянуто у роботі [5]. Вона полягає у проведенні серії експериментів з використанням тестових вхідних впливів. Для цього використовуються ступінчасті сигнали різної амплітуди із різним зміщенням за часом. Основна складність при застосуванні розглянутого підходу полягає в необхідності проведення значної кількості експериментів для побудови ядер Вольтерри. Для знаходження ядра лінійної частини моделі необхідно здійснити один експеримент, для побудови ядра другого порядку – $2k + 1$ експериментів, для побудови тривимірного ядра – $2k^2 + 4k + 1$ експериментів. Наприклад, при $k = 101$ ($T = 10$, $h = 0.1$) кількість експериментів для побудови двовимірного ядра буде $2k + 1 = 203$, для тривимірного ядра становитиме $2k^2 + 4k + 1 = 20807$, де k – кількість точок дискретизації за часом, $k = T/h + 1$; T – тривалість перехідного процесу, h – крок дискретизації. Отже, велика кількість експериментів унеможливує в багатьох випадках застосування методу рядів Вольтерри для дослідження нелінійних динамічних систем.

Для зменшення кількості експериментів пропонується адаптивний метод ідентифікації рядів Вольтерри за допомогою ефективного планування експериментів [7]. В основі запропонованого методу лежить властивість, яка полягає в тому, що вплив нелінійності на результат різних експериментів є однаковий (в межах заданої похибки), але зміщений у часі, відповідно до зміщення ступінчастого вхідного сигналу. Це дає змогу на основі обраної спеціальним чином частини експериментів обчислити за допомогою сплайн-інтерполяції резуль-

тати іншої частини експериментів. Наприклад, для багатьох випадків для ідентифікації нелінійного об'єкта інтегро-степеневим рядом Вольтерри другого порядку замість 230 експериментів достатньо було провести 7 експериментів. Для найгіршого спеціальним чином підібраного випадку кількість експериментів зростає до 59.

На основі експериментальних досліджень визначено, що задовільна адекватність моделі досягається у випадку використання поліноміального інтегрального оператора другого степеня, тобто вплив третього і вищих членів інтегрального ряду є незначним (менше 0,5%). Отримана модель має вигляд:

$$R(t) = k_0 + \int_0^t K_1(s)T(t-s)ds + \int_0^t \int_0^t K_2(s_1, s_2)T(t-s_1)T(t-s_2)ds_1ds_2, \quad (7)$$

де $R(t)$ – значення опору терморезистора, $T(t)$ – значення температури в чипі, k_0 – безрозмірний коефіцієнт, $K_1(s)$ – ядро першого порядку подане в табличному вигляді (вектор), $K_2(s_1, s_2)$ – ядро другого порядку подане в табличному вигляді (матриця). Для відновлення сигналу на основі моделі (7) проведемо її регуляризацію [1, 6] шляхом введення диференціального регуляризаційного оператора. В результаті отримано модель:

$$\alpha \frac{dT}{dt} + \int_0^t K_1(s)T(t-s)ds + \int_0^t \int_0^t K_2(s_1, s_2)T(t-s_1)T(t-s_2)ds_1ds_2 = R(t) - k_0, \quad (8)$$

де α – параметр регуляризації.

Для розв'язування оберненої задачі відновлення вхідного сигналу, яка є некоректною, скористаємося методом, що описаний в роботі [6]. Для оцінки точності розв'язків, які отримуються з використанням зазначеного методу доцільно провести обчислювальні експерименти з використанням модельних задач. Ці результати, з певним наближенням, можна екстраполювати на реальні задачі.

Модельні експерименти. Моделі (7) та (8) дослідимо за допомогою розв'язування прямих і обернених задач. На рис. 4 наведено графік тестового вхідного впливу, на рис. 5 зображено графіки реакції системи на вхідний сигнал з використанням одного та двох членів поліноміального оператора. Отримані результати показали, що невикористання другого члена буде призводити до значної похибки і зниження адекватності моделі.

Розглянемо також модельну задачу відновлення сигналу температури на основі виміряного опору. На рис. 6 зображено графіки,

що відображають процес відновлення сигналу (точний та наближений розв'язки). На рис. 7 наведено графік відносної похибки обчисленого розв'язку.

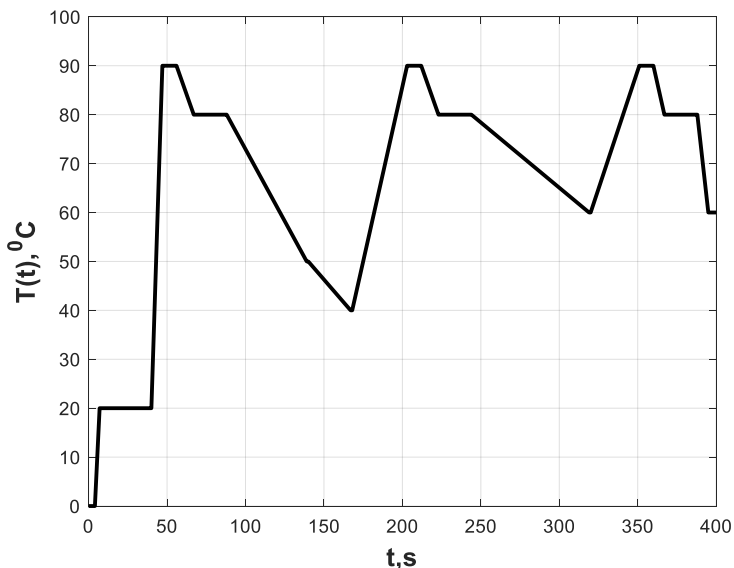


Рис. 4. Графік тестового входного впливу

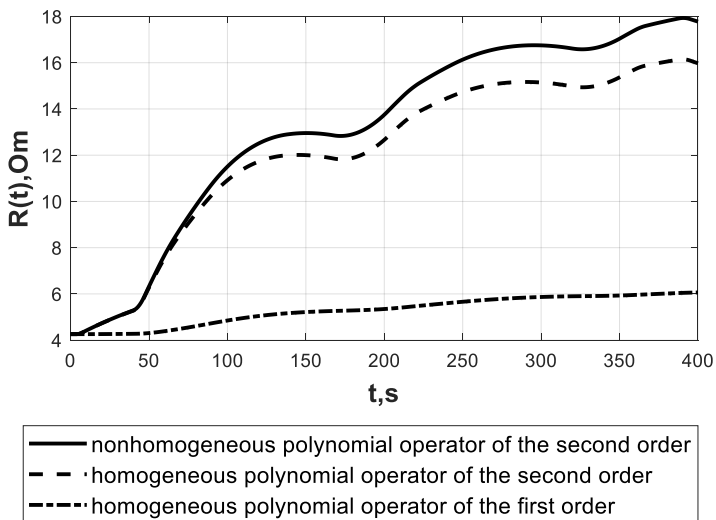


Рис. 5. Графіки реакції системи

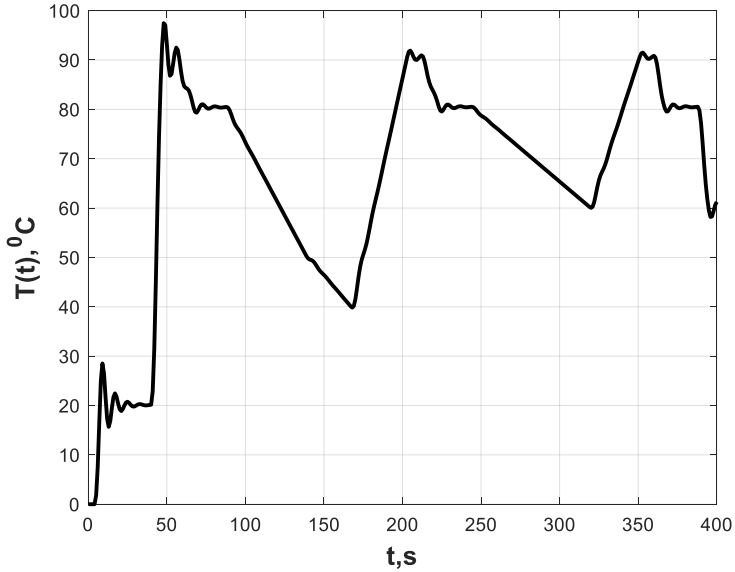


Рис. 6. Графік обчисленої температури

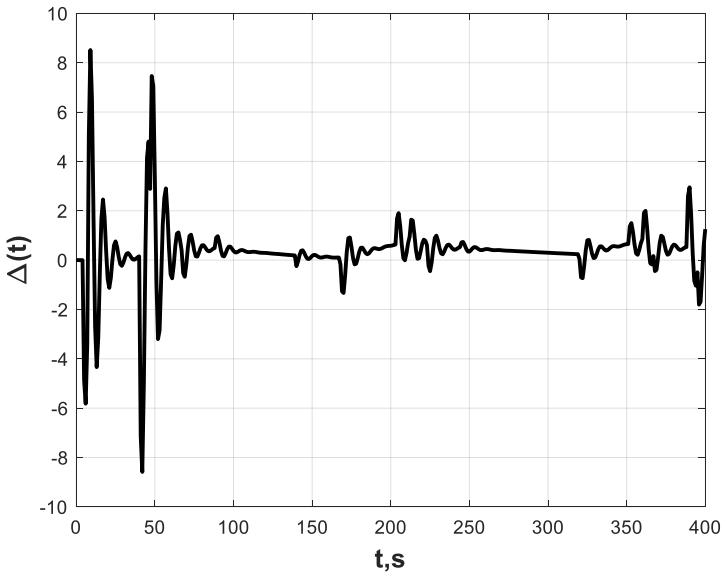


Рис. 7. Графік відносної похибки числового розв'язку відновлення сигналу

Ефективність отриманої моделі досліджувалась також з накладанням шумових завад на вхідний сигнал. На рис. 8 наведено графік

сигналу із накладанням шуму, на рис. 9 – графіки відновленого сигналу та його точне значення. Графік відносної похибки відновлення зображено на рис. 10.

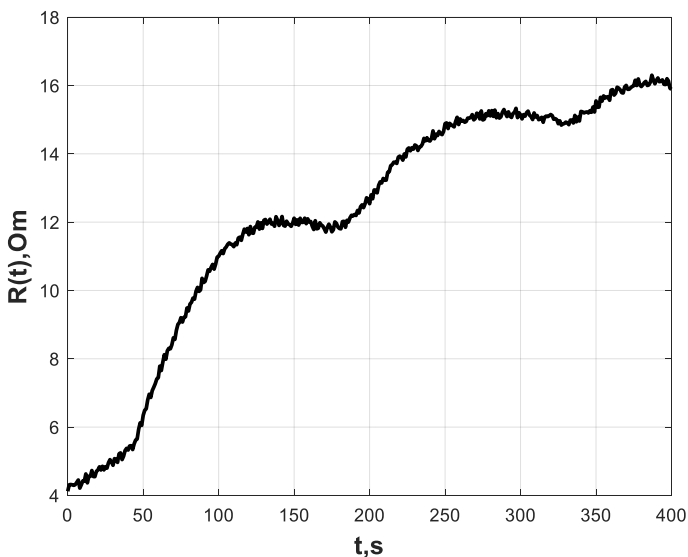


Рис. 8. Графік сигналу на виході системи із накладанням шумових завад

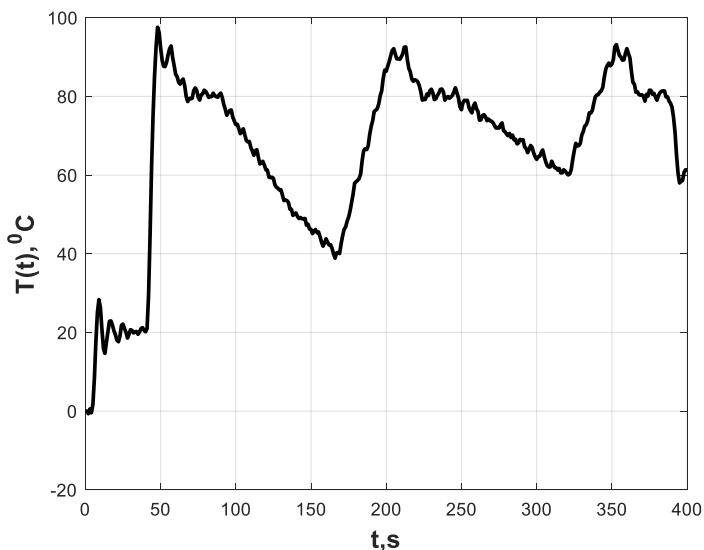


Рис. 9. Графіки сигналу на вході системи

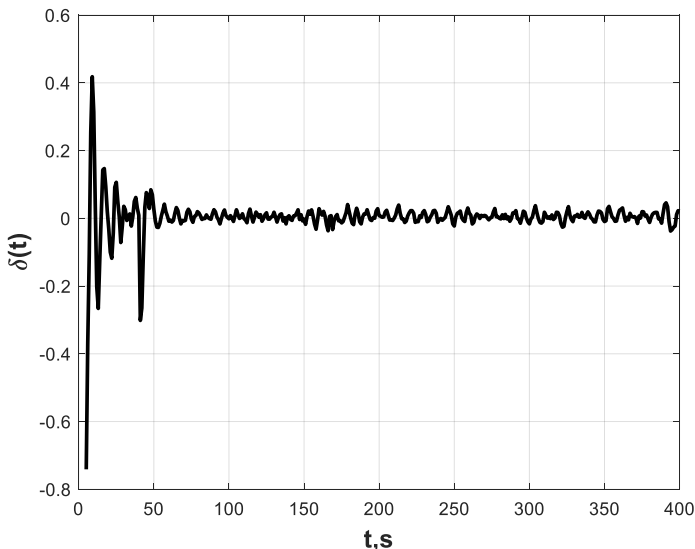


Рис. 10. Графік відносної похибки числової реалізації оберненої задачі

Розв'язування поліноміальних інтегральних рівнянь з ядрами табличного виду в режимі реального часу. Особливістю моделі (7) є те, що вона визначена ядрами, які задані таблично, що накладає часові обмеження у їх використанні. Вирішення даної проблеми здійснюється шляхом застосування механізму повторного запуску обчислювального процесу зі зменшенням часового проміжку, на якому визначене ядро інтегральної моделі (7).

Інтегральна модель (8) розглядається у вигляді множини моделей

$$\alpha \frac{dT}{dt} + \int_{z_i}^t K_1(s)T(t-s)ds + \int_{z_i}^t \int_{z_i}^t K_2(s_1, s_2)T(t-s_1)T(t-s_2)ds_1ds_2 = R(t) - k_0, \quad (9)$$

де $z = [0, z_1, z_2, \dots]$ – значення зміщення обчислювального процесу. Кожна з моделей має свою область дії, а саме:

$$\alpha \frac{dT}{dt} + \int_0^t K_1(s)T(t-s)ds + \int_0^t \int_0^t K_2(s_1, s_2)T(t-s_1)T(t-s_2)ds_1ds_2 = R(t) - k_0; \quad t \in [0; z_2]; \quad (10)$$

$$\alpha \frac{dT}{dt} + \int_{z_1}^t K_1(s)T(t-s)ds +$$

$$\int_{z_1}^t \int_{z_1}^t K_2(s_1, s_2)T(t-s_1)T(t-s_2)ds_1ds_2 = R(t) - k_0; t \in [z_1; z_3];$$
(11)

$$\alpha \frac{dT}{dt} + \int_{z_2}^t K_1(s)T(t-s)ds +$$

$$\int_{z_2}^t \int_{z_2}^t K_2(s_1, s_2)T(t-s_1)T(t-s_2)ds_1ds_2 = R(t) - k_0; t \in [z_2; z_4].$$
(12)

Операція зміщення ядра з математичної точки зору є некоректною, оскільки при рестарті обчислювального процесу не враховуються початкові умови при обчисленні першого дискретного значення розв'язку на зміщеному часовому інтервалі.

Для отримання розв'язку на нескінченному інтервалі часу з прийнятною похибкою, що не перевищує похибки методу, моделі побудовані таким чином, що кожна зміщена у часі на половину часового інтервалу, на якому визначена попередня модель.

Значення в початковій точці дискретизації беруться такі: для моделі (10) перше дискретне значення має значення, яке знайдене при побудові моделі; для моделі (11) – значення $q_1(z_1) = q_0(z_1)$; для моделі (12) – значення $q_2(z_2) = q_1(z_2)$; Такі початкові значення призводять до значних похибок на початку рестарту в обчисленні розв'язку. Однак, завдяки властивості саморегуляризації інтегральних моделей [9], похибка з часом швидко зменшується до рівня методичної похибки. Результуючий розв'язок є результатом компонування розв'язків, які отримані при виконанні двох обчислювальних процесів у двох програмних потоках, причому враховуються фрагменти отриманих результатів, де спостерігається стійка збіжність розв'язку.

На рис. 11 представлено графіки отриманих розв'язків для рівняння типу (8) з використанням рестартів обчислювальних процесів, які зміщені в часі. На рис. 12 зображено графік розв'язку, який отримано у результаті об'єднання фрагментів розв'язків отриманих в різних потоках.

Модель (9) є основою програмної складової комп'ютеризованої підсистеми аналізу даних температурних режимів, яка реалізована на сервері у вигляді програмного комплексу ODP на мові Python. Значення температури визначається на основі розв'язування поліноміальних інтегро-диференціальних рівнянь (9), причому для кожного вимірювального перетворювача організовано два обчислювальні потоки, в яких отримуються розв'язки рівнянь (10) та (11) з подальшим їх

об'єднанням. При цьому вхідними є цифрові сигнали, отримані із аналого-цифрових перетворювачів до яких під'єднані терморезистори. Далі в автоматичному режимі, у випадку перевищення граничної температури, знижується навантаження на обладнання або здійснюється його вимкнення загалом. В той же час повідомлення про проблему надсилається адміністратору комп'ютерної мережі.

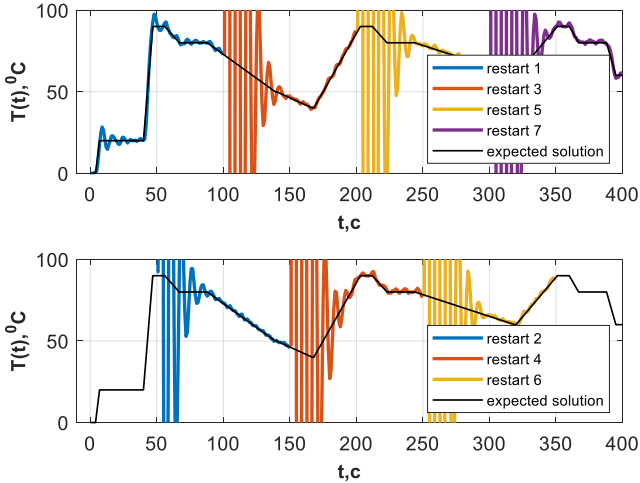


Рис. 11. Графіки розв'язків рівняння типу (5) з використанням рестартів обчислювальних процесів.

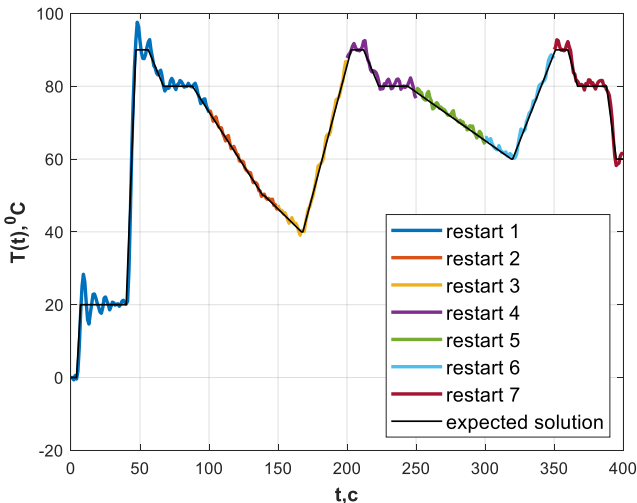


Рис. 12. Результат об'єднання фрагментів розв'язків

Висновки. Отже, розроблений метод аналізу даних, які надходять в цифровому вигляді з температурних датчиків шляхом розв'язування поліноміальних інтегральних рівнянь першого роду другого степеня на основі застосування диференціального регуляризаційного оператора та використання механізму повторного запуску обчислювального процесу зі зміщенням часового проміжку, на якому визначені ядра рівняння, дав змогу розв'язати задачу відновлення вхідних сигналів нелінійних вимірювальних перетворювачів в умовах реального часу при наявності високочастотних шумових завад у вхідних сигналах, що дає можливість підвищити надійність та ефективність функціонування сучасного комунікаційного обладнання. Перспективним напрямком подальших досліджень є визначення оптимального часового інтервалу на якому визначаються ядра інтегральної моделі та параметра регуляризації, для якого спостерігається максимальна швидкість збіжності обчислювального процесу при рестарті.

Список використаних джерел:

1. Verlan A., Fedorchuk V., Ivaniuk V., Sterten J. Using non-linear integral models in automatic control and measurement systems for sensors' input signals' recovery. *Advances in Intelligent Systems and Computing*. 2021. P. 18-25. DOI: 10.1007/978-3-030-68004-63.
2. Doyle F. J., Pearson R. K., Ogunnaike B. A. Identification and Control Using Volterra Models. *Communications and Control Engineering*. 2002. DOI: 10.1007/978-1-4471-0107-9.
3. Fedorchuk V., Ivaniuk V., Ponedilok V. The Method of Decoding Signals of Temperature Sensors of Communication Network Equipment Based on the Use of Nonlinear Volterra Integral Models. *2022 IEEE 4th International Conference on Advanced Trends in Information Theory, ATIT 2022 – Proceedings*. 2022. P. 19-22. DOI:10.1109/ATIT58178.2022.10024220.
4. Fraden J. Handbook of Modern Sensors. 2016. DOI: 10.1007/978-3-319-19303-8.
5. Ivaniuk V., Ponedilok V., Hryshchuk V. Computer realization deterministic method of identifying integrated models of nonlinear dynamic objects. *Mathematical and computer modelling. Series: Technical sciences*, Kamianets-Podilskyi: Kamianets-Podilskyi Ivan Ohienko National University, 2014. Issue 10. P. 59-67. DOI: 10.32626/2308-5916.2014-10.59-67.
6. Ivaniuk V. A., V. V. Ponedilok. Method of Restoration of Input Signals of Nonlinear Dynamic Object with Distributed Parameters. *Mathematical and Computer Modelling. Series: Technical Sciences*. No. 18 (December 18, 2018). P. 65-73. DOI: 10.32626/2308-5916.2018-18.65-73.
7. Ivaniuk V. A., Fedorchuk V. A. Adaptive Method of Identification of Models of Nonlinear Dynamic Systems with Using Integral Volterra Series. *Електронне Моделювання*. 2019. Vol. 41. No. 3 (June 6, 2019). P. 33-42. DOI: 10.15407/emodel.41.03.033.
8. Mukhopadhyay Subhas Chandra ed. Next Generation Sensors and Systems. *Smart Sensors, Measurement and Instrumentation*. 2016. DOI: 10.1007/978-3-319-21671-3.

9. Verlan A. F., Sagatov M. V., Sytnik A. A. Methods of mathematical and computer modeling of measuring transducers and systems based on integral equations. Tashkent: Fan Publishing House of the Academy of Sciences of the Republic of Uzbekistan, 2011.

DATA ANALYSIS OF THE THERMAL STATE OF SWITCHING EQUIPMENT OF COMPUTER NETWORKS ON THE BASIS OF RESTORATION OF TEMPERATURE SENSOR SIGNALS

The article considers the task of analyzing distributed data of temperature modes of chips of switching equipment of computer networks. For this, a temperature measurement system using a temperature sensor is used. In the case when the temperature sensor is inside the chip, the speed of the measurement system's response to temperature changes is satisfactory. However, when the sensor is outside the chip, due to the inertness of the thermal contact, the response speed of the measuring system is low. In this situation, the effectiveness of the control system becomes unsatisfactory. To overcome the inertness of temperature sensors, it is proposed to analyze the distributed data that is received in digital form on the data processing server by restoring the distorted signals of nonlinear measuring subsystems «chip – temperature sensor» based on the use of their mathematical models in the form of a partial sum of the Volterra integro-power series. The identification of the mathematical model of the measurement subsystem is carried out on a finite interval of time by conducting a series of experiments using test signals. The method of reducing the number of test signals based on taking into account the specificity of the impact of nonlinearity on the results of experiments is considered. The obtained model is the basis for solving the inverse problem of restoring the signal of temperature influence at the sensor input. Since this problem is incorrect, it is suggested to supplement the model with a regularization parameter and reduce the problem to a correct one. To use the model over an infinite period of time, a computer modeling technique is proposed using restarts of computing processes, which are carried out in several streams with a shift in time. The result of calculations is formed by combining fragments from different streams. To check the reliability of the results obtained by applying the developed method, the solutions of the model problems are given.

Key words: *data analysis, restoration of distorted signals, integral nonlinear models, inverse problems, Volterra polynomial series.*

Отримано: 11.09.2024