

КОМП'ЮТЕРНІ СИСТЕМИ ТА КОМПОНЕНТИ

УДК 681.3:621.375

О. Д. АЗАРОВ, С. В. БОГОМОЛОВ, В. Я. СТЕЙСКАЛ

Вінницький національний технічний університет, Вінниця

ПОХИБКИ ЛІНІЙНОСТІ ПЕРЕДАТНОЇ ХАРАКТЕРИСТИКИ ВХІДНОГО КАСКАДУ ДВОТАКТНИХ ПІДСИЛЮВАЧІВ СТРУМУ

Анотація: Розглянуто похибки лінійності статичної передатної характеристики вхідного каскаду двотактних підсилювачів струму. Виведено аналітичні співвідношення для оцінювання похибок лінійності статичної передатної характеристики та коефіцієнту передачі по струму у малосигнальній зоні та зоні великого сигналу.

Ключові слова: похибки лінійності, вхідний комплементарний каскад, двотактний підсилювач постійного струму.

Вступ

Відмінною особливістю двотактних підсилювачів постійного струму (ДППС) повинна бути, зокрема, висока лінійність статичної передатної характеристики. У статті аналізуються рівні похибок лінійності вхідного комплементарного каскаду ДППС.

Актуальність

Підсилювачі постійного струму (ППС) є базовими аналоговими вузлами у багатьох електронних схемах і, зокрема в аналого-цифрових та цифроаналогових пристроях, що у свою чергу використовуються в інформаційно-вимірювальних системах, пристроях зв'язку комп'ютера з об'єктами та інших [1, 2]. Лінійність передатної характеристики є складовою загальною точності функціонування пристроїв. Існує два шляхи зменшення похибок ДППС. Перший – технологічний, при якому покращується елементна база. Другий – схемотехнічний, коли використовуються різноманітні схеми компенсації статичних похибок у структурі підсилювача.

Слід відзначити, що в існуючих публікаціях з цього напрямку відсутній систематизований підхід, щодо оцінювання лінійності передатної характеристики вхідних комплементарних каскадів ДППС. Стаття, присвячена аналізу похибок лінійності передатної характеристики вищезгаданих каскадів, є актуальною.

Мета

Метою досліджень є оцінювання похибок лінійності статичної передатної характеристики вхідного комплементарного каскаду двотактних підсилювачів постійного струму, а також методи їх визначення на етапі проектування, зокрема, шляхом комп'ютерного моделювання.

Постановка задач

1. Виведення аналітичних співвідношень для оцінювання похибок лінійності статичної передатної характеристики вхідних каскадів ДППС.
2. Дослідження впливу на рівень похибок лінійності неідентичності коефіцієнтів підсилення по струму р-п-р та n-р-n транзисторів, а також деяких інших чинників.

Розв'язання задач

Нелінійність вхідного комплементарного каскаду у значній мірі визначає нелінійність передатної характеристики всього ДППС. Суть структурно-функціональної організації ядра схеми вхідного комплементарного каскаду із компенсацією зсуву нуля представлено на рис. 1 а. Його основою є вхідний підсилювач-фазорозщеплювач (ПФР) вхідного струму. Для забезпечення режиму по постійному струму використовується каскодування (рис. 1, б). Бази під'єднано до напруг $+U_{зм}$ і $-U_{зм}$. Ці напруги генеруються блоком напруг зміщення (БНЗ). При дослідженні потрібно у першу чергу оцінити нелінійність ПФР. Для забезпечення режиму по постійному струму ПФР використовується каскодування із загальною базою (ЗБ). Для визначення потенційних характеристики ПФР у схему введено керовані генератори струму (КГС) F1 і F2, що дозволяють вилучити підсилювальних та вихідних каскадів ППС на нелінійність ПФР (рис. 1, в) [3-5].

Джерела струмів I1 та I2 слугують для завдання збалансованого режиму по постійному струму вищезгаданого каскаду. Джерело струму $I_{зс0}$ забезпечує компенсацію струму зсуву нуля.

Виведемо аналітичні співвідношення для визначення передатної характеристики. При цьому, загальне падіння напруги в ланцюгові зміщення каскаду дорівнює $U_{\Sigma} = U_{зм} + |-U_{зм}| = U_{\delta e1} + U_{\delta e2}$.

У свою чергу:

$$U_{\delta e1} = \varphi_T \ln \frac{I'}{I_0}, \quad U_{\delta e2} = \varphi_T \ln \frac{I''}{I_0},$$

де $\varphi_T = \frac{kT}{q} \approx 25mV$ – термопотенціал; $I_0 \approx 10^{-15} A$ – тепловий струм [6].

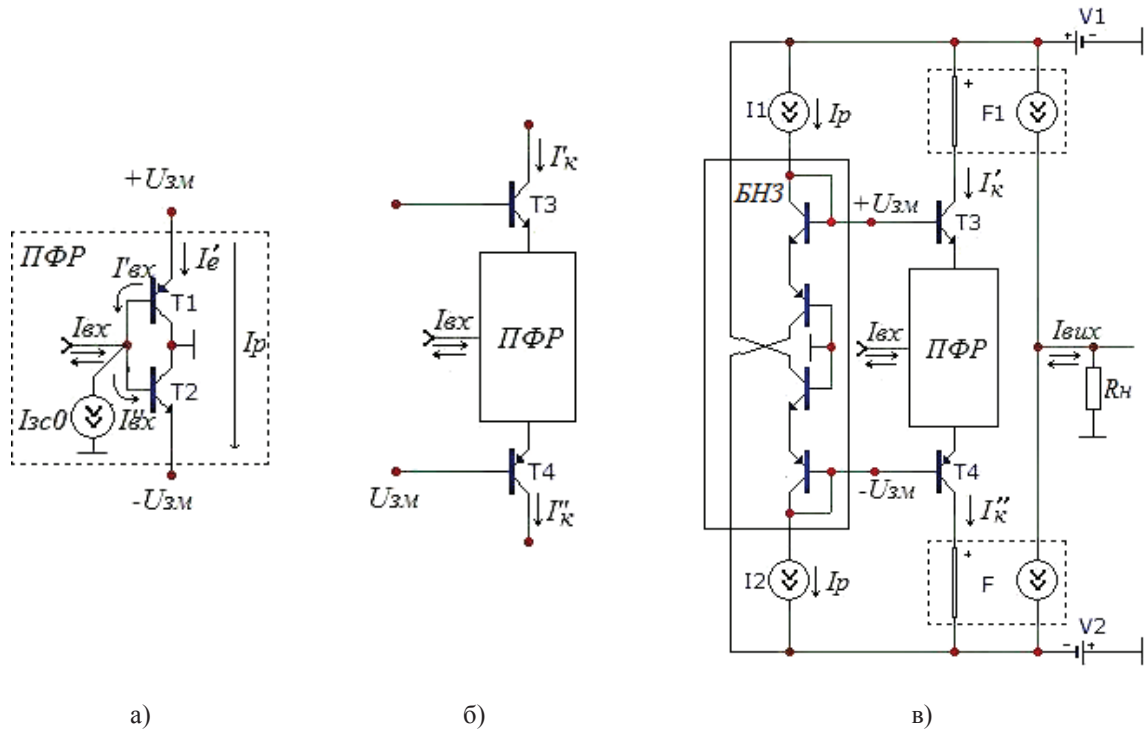


Рисунок 1 – Вхідний комплементарний каскад ДППС на основі біполярних транзисторів із парафазними виходами: а) ядро схеми із компенсацією зсуву нуля; б) принцип каскодування парафазних виходів; в) схематична організація одноступінчастого ДППС із використанням керованих генераторів струму.

Тому:

$$U_{\Sigma} = \varphi_T \ln \frac{I'_e}{I_0} + \varphi_T \ln \frac{I''_e}{I_0} = \varphi_T \ln \frac{I'_e I''_e}{I_0^2}. \quad (1)$$

Врахувавши умову балансу емітерних струмів $I'_e = I''_e$ та рівність, яку виведено в [7]:

$$I'_e I''_e = I_p^2,$$

отримаємо:

$$I'_e = I''_e = I_p.$$

Балансування схеми полягає, зокрема, у формуванні однакових робочих точок. Для цього використовується джерело струму зсуву нуля I_{zc0} . Визначимо його рівень. При $I_{ex} = 0$ та відповідно до першого закону Кірхгофа, отримаємо:

$$I_{zc0} - I'_{ex} + I''_{ex} = 0,$$

де I'_{ex}, I''_{ex} – розгалуження вхідного струму по базах T1 і T2 транзисторів відповідно. При цьому:

$$I'_{ex} = \frac{I'_e}{1+B'}, \quad I''_{ex} = \frac{I''_e}{1+B''},$$

де B', B'' – статичні коефіцієнти передачі T1 і T2 відповідно.

Враховуючи вищезгадані рівності та, беручи до уваги, що $I_e = I'_e = I''_e$, отримаємо:

$$I_{zc0} = I_p \cdot \frac{(B'' - B')}{(1 + B') \cdot (1 + B'')} \approx I_p \cdot \frac{B'' - B'}{B' B''}$$

Потенціюючи (1) та із урахуванням I_{ex} , отримаємо вирази, що описують передатну характеристику вхідного комплементарного каскаду у зоні великого сигналу:

$$I'_e = \left(\frac{1}{2} I_{ex} + \sqrt{\frac{I_{ex}^2}{4} + \frac{I_p^2}{(1 + B') \cdot (1 + B'')}} \right) \cdot (1 + B') ,$$

$$I''_e = \left(\frac{1}{2} I_{ex} - \sqrt{\frac{I_{ex}^2}{4} + \frac{I_p^2}{(1 + B') \cdot (1 + B'')}} \right) \cdot (1 + B'') ,$$

У свою чергу вирази, що описують колекторні струми I'_k, I''_k транзисторів Т3 і Т4 мають вигляд:

$$I'_k = \left(\frac{1}{2} I_{ex} + \sqrt{\frac{I_{ex}^2}{4} + \frac{I_p^2}{(1 + B') \cdot (1 + B'')}} \right) \cdot (1 + B') \cdot A'' ,$$

$$I''_k = \left(\frac{1}{2} I_{ex} - \sqrt{\frac{I_{ex}^2}{4} + \frac{I_p^2}{(1 + B') \cdot (1 + B'')}} \right) \cdot (1 + B'') \cdot A' ,$$
(2)

де A', A'' – статичні коефіцієнти передачі Т3 і Т4 відповідно за схемою ЗБ.

Графіки залежностей колекторних струмів $I'_k = f(I_{ex})$ і $I''_k = f(I_{ex})$ та загального струму, що визначається, як: $I_{вих} = I'_k + I''_k$, наведено на рис. 2.

Для доведення адекватності отриманих математичних моделей, на їх основі побудовано графіки в програмі Mathcad 14 та проведено порівняння із результатами комп'ютерного моделювання електричної принципової схеми у програмі Micro-Cap 9.0.3.0.1. Збіжність графіків свідчить про адекватність запропонованих математичних моделей.

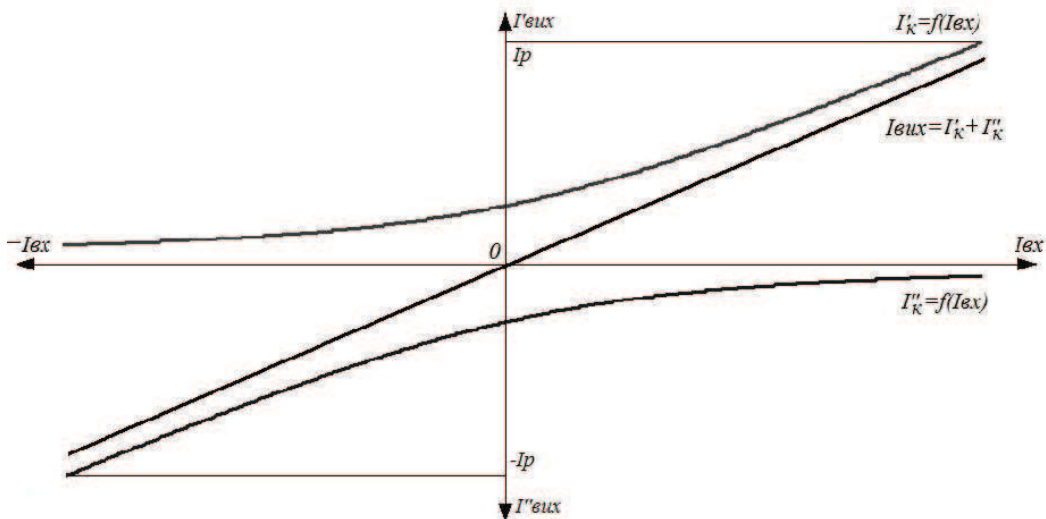


Рисунок 2 – Статичні передатні характеристики по пара фазному і загальному виходах схеми

Для визначення коефіцієнтів передачі, побудуємо еквівалентну схему, яку подано на рис. 3.

При цьому:

$$k'_i = \frac{i'_k}{i'_{ex}}, \quad k''_i = \frac{i''_k}{i''_{ex}}$$

де k'_i, k''_i – коефіцієнти передачі i_{ex} по верхньому і нижньому каналах відповідно.

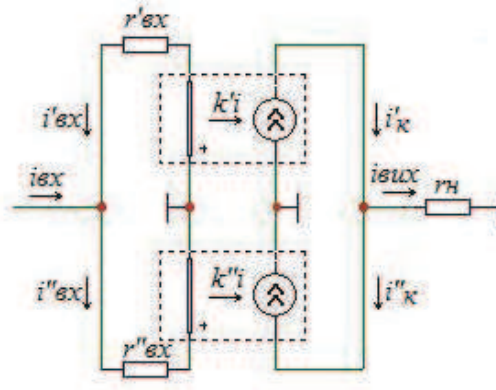


Рисунок 3 – Еквівалентна схема вхідного каскаду у режимі малого сигналу

Враховуючи рівність для визначення коефіцієнтів передачі і те, що транзистори Т1 і Т2 увімкнено за схемою загальний колектор (ЗК), а транзистори Т3 і Т4 за схемою ЗБ, можемо записати рівності:

$$k'_i = \chi' \cdot (1 + \beta') \cdot \alpha'',$$

$$k''_i = \chi'' \cdot (1 + \beta'') \cdot \alpha'$$

де β', β'' – малосигнальні коефіцієнти передачі транзисторів Т6 і Т7 відповідно, χ', χ'' – коефіцієнти розгалуження i_{ex} по верхньому і нижньому каналах відповідно, α', α'' – малосигнальні коефіцієнти передачі емітерного струму транзисторів Т5 і Т8 відповідно.

Значення χ' і χ'' можна визначити у вигляді:

$$\chi' = \frac{i'_{ex}}{i_{ex}}, \quad \chi'' = \frac{i''_{ex}}{i_{ex}}.$$

При цьому:

$$i'_{ex} = \frac{U_{ex}}{r'_{ex}}, \quad i''_{ex} = \frac{U_{ex}}{r''_{ex}}.$$

де U_{ex} – падіння напруги в точці об'єднання баз транзисторів Т1 і Т2, r'_{ex}, r''_{ex} – вхідні опори верхнього і нижнього каналів відповідно.

У свою чергу, врахувавши, що $r'_e = r''_e = r_e$, r'_{ex}, r''_{ex} визначаються як [8]:

$$r'_{ex} = r'_o + 2r_e \cdot (1 + \beta'),$$

$$r''_{ex} = r''_o + 2r_e \cdot (1 + \beta'')$$

У свою чергу U_{ex} визначаються як:

$$U_{ex} = i_{ex} \cdot r'_{ex} \parallel r''_{ex}$$

З врахуванням попередніх виразів отримаємо:

$$\chi' = \frac{\beta''}{\beta' + \beta''}, \quad \chi'' = \frac{\beta'}{\beta' + \beta''}.$$

Враховавши (2), отримуємо вирази, що описують передатну характеристику вхідного комплементарного каскаду у малосигнальній зоні:

$$i'_{\kappa} = \frac{\beta' \cdot \beta'' \cdot \alpha''}{\beta' + \beta''} \cdot i'_{ex}$$

$$i''_{\kappa} = \frac{\beta' \cdot \beta'' \cdot \alpha'}{\beta' + \beta''} \cdot i''_{ex}$$

Враховуючи вираз для визначення сумарного коефіцієнту підсилення, який наведено в [4] і те, що $\alpha' \approx \alpha'' \approx 1$:

$$k_i = k'_i + k''_i,$$

отримаємо, що:

$$k_i = 2 \cdot \frac{\beta' \cdot \beta''}{\beta' + \beta''}$$

Струм який буде протікати через резистор навантаження R_H буде визначатися як:

$$I_H = I'_K - I''_K$$

Враховуючи вираз (2) та прийнявши, що $B' \approx \beta'$, $B'' \approx \beta''$, $A' \approx \alpha'$, $A'' \approx \alpha''$, отримаємо функцію, що описує передатну характеристику вхідного каскаду підсилювача струму із симетричною структурою:

$$I_H = \frac{\beta' \alpha'' + \beta'' \alpha'}{2} I_{\text{вх}} + (\beta' \alpha'' - \beta'' \alpha') \cdot \sqrt{\frac{I_{\text{вх}}^2}{4} + \frac{I_p^2}{\beta' \cdot \beta''}}, \quad (3)$$

Вираз (3) показує, що нелінійність першого каскаду передається на вихід через асиметричність «плечей» підсилювача. При нульовому вхідному струмі маємо:

$$I'_H = (\beta' \alpha'' - \beta'' \alpha') \cdot \sqrt{\frac{I_{\text{вх}}^2}{\beta' \cdot \beta''}} \quad \Bigg| \quad I_{\text{вх}} = 0.$$

Приріст вихідного струму можна визначити, як:

$$\Delta I_H = I_H(I_{\text{вх}}) - I'_H(I_{\text{вх}}),$$

Враховуючи (3), маємо:

$$\Delta I_H = \frac{\beta' \alpha'' + \beta'' \alpha'}{2} I_{\text{вх}} + (\beta' \alpha'' - \beta'' \alpha') \left(\sqrt{\frac{I_{\text{вх}}^2}{4} + \frac{I_p^2}{\beta' \cdot \beta''}} - \sqrt{\frac{I_p^2}{\beta' \cdot \beta''}} \right) \quad (4)$$

Графік залежності $\Delta I_H = f(I_{\text{вх}})$, отриманий шляхом комп'ютерного моделювання у програмах Mathcad 14 та Micro-Cap 9.0.3.0.1 RUS GUAP Edition, зображено суцільною лінією на рис. 4. Пунктирною лінією зображено графік залежності $I_{\text{вих}} = k_i \cdot I_{\text{вх}}$.

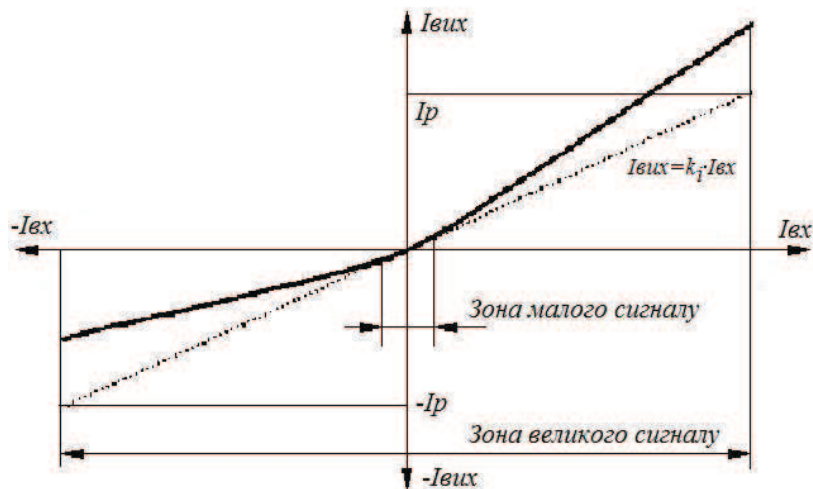


Рисунок 4 – Графік залежності $\Delta I_H = f(I_{\text{вх}})$

Враховуючи (2), слід зазначити, що функції $\Delta I'_K = f(I_{ex})$ та $\Delta I''_K = f(I_{ex})$ мають дві зони:

- 1) $|I_{ex}| \ll 2I_p$ – малосигнальна зона;
- 2) $|I_{ex}| \leq 2I_p$ – зона великого сигналу.

У малосигнальній зоні приріст струму: $\Delta I'_K \approx \Delta I''_K \approx \frac{1}{2} I_{ex}$. У зоні великого сигналу $\Delta I'_K \approx \Delta I''_K \approx \Delta \approx I_{ex} - I_p$

Враховавши (4) і умови наявності малосигнальної зони і зони великого сигналу отримаємо: при $|I_{ex}| \ll 2I_p$: $\Delta I_H \approx \beta''\alpha' I_{ex} - (\beta''\alpha' - \beta'\alpha'') \cdot I_p$,

а при $|I_{ex}| \leq 2I_p$: $\Delta I_H \approx \beta'\alpha'' I_{ex} - (\beta''\alpha' - \beta'\alpha'') \cdot I_p$.

Практичну принципову схему ДППС із вхідним комплементарним каскадом [9] зображено на рис. 5.

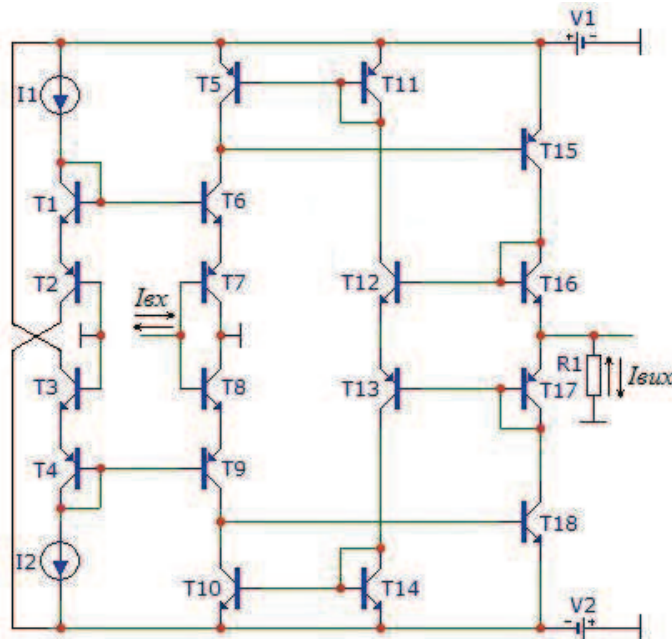


Рисунок 5 – Принципова схема ДППС із вхідним каскадом у вигляді підсилювача-фазорозщеплювача

В ній використано проміжний підсилювальні каскади на основі T15 і T18 і двонаправлений відбивач струму, який побудовано на транзисторах T12, T13, T16, T17. Двонаправлений відбивач струму забезпечує вибірковий зворотній зв'язок, для завдання режиму по постійному струму проміжних підсилювальних каскадів через компенсатори струму, які побудовано на транзисторах T5, T11 та T10, T14 відповідно. Такий підхід дозволяє точно задавати режим робочої точки проміжних підсилювальних каскадів.

Враховуючи [7] та (3), отримуємо функцію, що описує передатну характеристику такого підсилювача:

$$I_H = \frac{\beta_7\alpha_6\beta_{15} + \beta_8\alpha_9\beta_{18}}{2} I_{ex} + (\beta_7\alpha_6\beta_{15} - \beta_8\alpha_9\beta_{18}) \sqrt{\frac{I_{ex}^2}{4} + \frac{I_p^2}{\beta_7 \cdot \beta_8}}$$

Також для визначення похибки лінійності можна використовувати різницеві методики. Для реалізації першого різницевого методики необхідно:

1. Для побудови графіка статичної передатної характеристики, вибираємо діапазон у якому проводиться дослідження.
2. Вибираємо піддіапазон АВ як показано на рис. 6, в якому статична передатна характеристики наближається до лінійної функції.
3. Визначаємо координати точок (x1, y1) та (x2, y2).

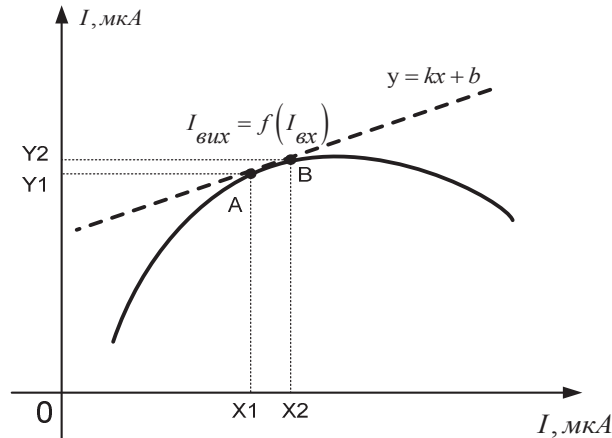


Рисунок 6 – Визначення координат точок перетину

Після визначення вказаних точок необхідно виділити різницю, тобто визначити на скільки відрізняються передатна функція від прямої.

Для двотактних симетричних ДППС ця функція буде описуватися рівнянням:

$$\Delta I_H = f(I_{вх}) + (k \cdot I_{вх} + b),$$

Для того щоб визначити коефіцієнти k і b необхідно розв'язати систему рівнянь:

$$\begin{cases} y_1 = k \cdot x_1 + b; \\ y_2 = k \cdot x_2 + b. \end{cases}$$

1. Визначаємо коефіцієнти k і b таким чином:

$$\begin{cases} b = y_1 - k \cdot x_1; \\ k = \frac{y_2 - y_1}{x_2 - x_1}. \end{cases}$$

В результаті отримаємо графік похибки лінійності, який представлено на рис. 7.

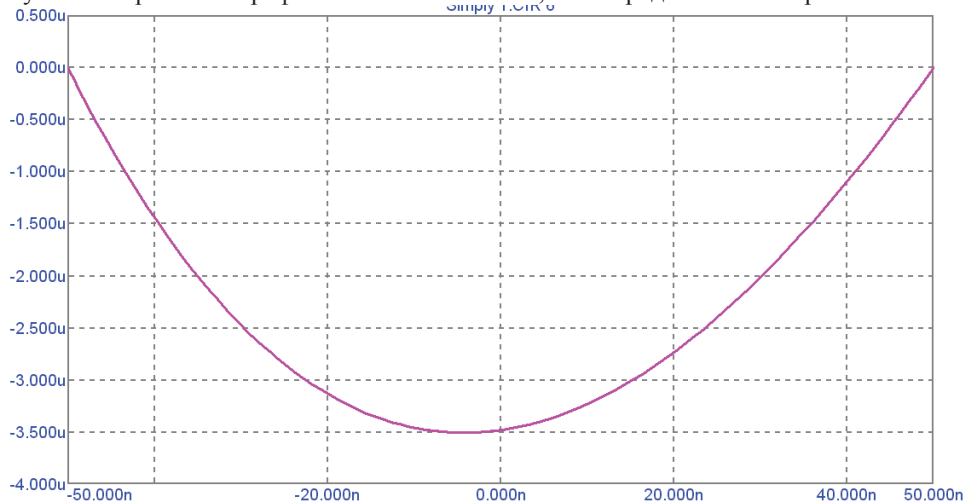


Рисунок 7 – Нелінійність статичної передатної характеристики ДППС із вхідним комплементарним каскадом

При дослідженні передатної характеристика будь-якого ППС доцільно використовувати одну із схем вмикання, яку наведено на рис. 8 [10].

Розглянута різницева методика визначення похибки лінійності може бути використана у випадках як із використанням, так і без використання резистора зворотного зв'язку.

Щоб реалізувати другу різницеву методику необхідно:

1. Вмикаємо ДППС за схемою рис. 8, б.
 2. Шляхом точного підбору номіналу резистора навантаження вибираємо режим у якому $I_{ex} \approx I_n$.
 3. За допомогою пакету прикладних програм будуємо характеристику $\Delta I_n = I_n - I_{ex} \cdot R_M$.
- Розглянуті методи дають однакові результати, проте перший метод є універсальнішим.

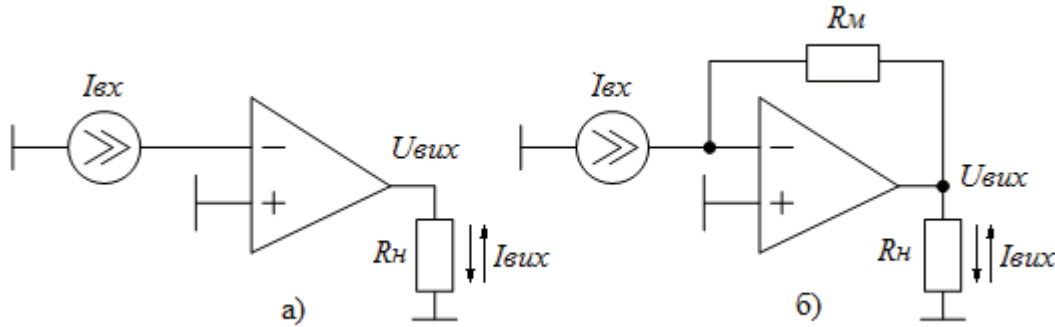


Рисунок 8 – Схеми вмикання ДППС:

а) без зворотного зв'язку; б) із зворотним зв'язком.

В таблиці 1 представлено результати комп'ютерного моделювання двох ДППС із рис. 1, в та рис. 5, що включено за схемою на рис. 8 а.

Таблиця 1 – Похибка лінійності ДППС

Діапазон сигналу		Похибки лінійності			
		Схема I (рис. 1, в)		Схема II (рис. 5)	
вхідного	вихідного	абсолютна	відносна	абсолютна	відносна
± 10 мкА	± 3.5 мА	40.4 пА	0.0002%	206 пА	0.001%
± 100 мкА	± 8 мА	36 нА	0.018%	18 нА	0.009%

Із таблиці 1 можна зробити висновок, що ДППС із ДВС (двонаправленим відбивачем струму) більш краще працюватиме у широкому діапазоні вхідних струмів, а схема із ідеальними струмовими генераторами дає гарні результати лише до тих пір поки базові струми транзисторів Т6 і Т7 не перевищують декількох мікроампер.

Висновки

1. Виведено аналітичні співвідношення для оцінювання похибок лінійності статичної передатної характеристики двотактних вхідних каскадів ДППС. Показано, що похибку можна розкласти на дві складові: лінійну та нелінійну. Це дозволяє оцінити рівень нелінійності передатної характеристики залежно від розбіжностей значень β для р-п-р і п-р-п транзисторів, як у зоні великого, так і малого сигналів.
2. Отримано аналітичні вирази, які дозволяють оцінити коефіцієнт передачі по струму вхідного комплементарного каскаду у малосигнальній зоні та зоні великого сигналу. Показано, що математичні моделі, збігаються із результатами комп'ютерного моделювання електричної принципової схеми.

Список використаної літератури

1. Волович Г.И. Схемотехника аналоговых и аналого-цифровых электронных устройств. – М.: Издательский дом «Додэка-XXI», 2005. – 528 с.
2. Jong, Walter G. Op Amp applications handbook Analog Devices series, 2004, – 895р.
3. Амелина М.А., Амелин С.А. Программа схемотехнического моделирования Micro-Cap 8. – М.: Горячая линия – Телеком, 2007. – 464 с. ил. ISBN 978-5-93517-339-5.

4. О.Д. Азаров, С.В. Богомолов, Схемна організація вхідного комплементарного каскаду двотактного симетричного підсилювача постійного струму // Проблеми інформатизації та управління. Національний авіаційний університет – 2009. – №3(27). – С. 6-13.
5. О.Д. Азаров, С.Ш. Каців, В.А. Гарнага, С.В. Богомолов, Моделі АЧХ і ФЧХ інтегральних біполярних транзисторів на основі схем заміщення з керованими генераторами струму // Проблеми інформатизації та управління. Національний авіаційний університет – 2009. – №4(28). – С. 5-15.
6. Степаненко И. П. Основы микроэлектроники: учебное пособие для вузов. 2-е изд. перераб. и доп. – М.: Лаборатория Базовых Знаний, 2003. – 488 с.: ил.
7. Аналіз передатної характеристики двотактного симетричного підсилювача постійного струму / Азаров О.Д., Гарнага В.А., Решетнік О.О., Богомолов С.В. // Наукові праці Вінницького національного технічного університету. Електронне наукове фахове видання – 2007. – №1(1). 8 с. www.nbuiv.gov.ua/e-journals/VNTU/2007-1/vyp1.html
8. Титце У., Шенк К. Полупроводниковая схемотехника. 12-е изд. Том I: Пер. С нем. – М.: ДМК Пресс, 2008. – 832 с.: ил.
9. Патент України №41316 Підсилювач постійного струму О.Д. Азаров, С.В. Богомолов, Л.В. Крупельницький – 2009.
10. Азаров О.Д., Байко В.В., Обертюх М.Р. Основы теории линейных интегральных схем – Вінниця ВДГУ – Вінниця, 1999. – 225 с.

Відомості про авторів

Азаров Олексій Дмитрович – завідувач кафедри обчислювальної техніки, Вінницький національний технічний університет, Хмельницьке шосе, 95, м. Вінниця, 21021, тел. 58-02-25

Богомолов Сергій Віталійович – аспірант кафедри обчислювальної техніки, Вінницький національний технічний університет, Хмельницьке шосе, 95, м. Вінниця, 21021, тел. +38-097-131-83-78, e-mail: bogomolovsergiy@gambler.ru

Стейскал Віктор Ярославович – завідувач науково-технічного центру «Аналого-цифрові системи», Вінницький національний технічний університет, Хмельницьке шосе, 95, м. Вінниця, 21021, тел. +38-067-714-96-19

КОМП'ЮТЕРНІ СИСТЕМИ ТА КОМПОНЕНТИ

УДК 681.31.001

В.О. БАГАЦЬКИЙ, О.В. БАГАЦЬКИЙ

Інституту кібернетики ім.В.М.Глушкова НАН України

МОДЕЛІ ЕЛЕМЕНТІВ АНАЛОГО-ЦИФРОВИХ ПРИСТРОЇВ

Анотація: Запропоновано моделювання аналогових та цифрових елементів аналого-цифрових пристроїв проводити на єдиній теоретичній базі - теорії передатних функцій. Виконана класифікація елементів з двома входами за формами представлення сигналів на входах та виході. Наведені двовимірні та тривимірні кусково-лінійні моделі найбільш поширених аналогових, аналого-цифрових та цифрових елементів.

Постановка проблеми

В існуючих програмах автоматизації проектування типу Spice аналогові пристрої моделюються на макрорівні [1] з використанням складних нелінійних моделей напівпровідникових компонентів типу транзистора та діода. Розрахунок та моделювання пристроїв базуються на теорії моделювання електронних схем, що дозволяє виконувати розрахунки параметрів пристроїв досить точно.

В тих самих програмах моделювання цифрових пристроїв проводиться на логіко-функціональному рівні [1] за допомогою простих моделей цифрових елементів (т.з. «примітивів»), які відображають тільки такі параметри елементної бази, як стан сигналів на входах та виходах елементів, кількість входів та виходів. Основою цих моделей є теорія перемикаючих (булевих) функцій.

Теорія моделювання електронних схем на макрорівні може бути застосована для аналізу та проектування як аналогових, так і цифрових пристроїв. Однак при цьому задача моделювання стає настільки багатовимірною, що обмеження людини-проектувальника та існуючих ПЕОМ за потужністю не дозволяють виконувати моделювання навіть помірно складних аналого-цифрових пристроїв.

Для проектування аналого-цифрових пристроїв на логіко-функціональному рівні бажано використовувати єдину теоретичну базу, яка би дозволяла більш детально моделювати цифрові елементи, та менш детально – аналогові елементи.

Аналіз останніх досліджень та публікацій

В системах наскрізного проектування цифрових та аналогових пристроїв та систем [2, 3] існує можливість моделювання аналого-цифрових пристроїв. Для цього використовуються два типи особливих елементів: аналого-цифровий та цифро аналоговий інтерфейси (АЦІ та ЦАІ), які відображають вхідні та вихідні каскади цифрових елементів. Якщо цифрові елементи з'єднуються один з одним, то елементи АЦІ та ЦАІ не беруться до уваги. Якщо до входу або виходу підключені аналогові елементи, то програма PSpice автоматично вмикає потрібний інтерфейс, до якого автоматично під'єднується джерело живлення.

Моделювання вхідного ланцюга реального цифрового елемента за допомогою лінійного RC-ланцюга, як це зроблено в PSpice, не завжди забезпечує точність розрахунку. Тому користувач повинен розробити і мати декілька нелінійних моделей АЦІ у формі макромоделей. Кількість параметрів АЦІ в PSpice може досягати 19 [2].

ЦАІ вмикають на вході аналогових елементів. Аналогова напруга створюється за допомогою джерела опорної напруги та дільника на резисторах, опори яких змінюються програмно за експоненціальним законом, кількість параметрів ЦАІ може бути до 17 [2].

На наш погляд, використання двох різних теоретичних баз та різних ієрархічних рівнів призводить до складностей у розрахунках та надання результатів моделювання. В існуючих системах проектування ці проблеми досить штучно вирішуються за рахунок використання моделей АЦІ та ЦАІ інтерфейсів.

Постановка задачі та мета досліджень

В статті в якості єдиної теоретичної бази вибрана теорія передатних функцій, за допомогою якої проводиться опис цифрових, аналогових та аналого-цифрових елементів обробки інформації на логіко-функціональному рівні.

Передатні функції враховують більшу кількість параметрів елементної бази, ніж це є в теорії перемикаючих функцій. З другого боку, передатні функції менш детально відображають параметри аналогових пристроїв, ніж моделі на макрорівні в програмі PSpice. Окрім того, передатні функції дозволяють моделювати не тільки електронні пристрої, а й пристрої іншої природи, наприклад, пневматичні або оптичні.

Метою статті є розробка моделей найпростіших елементів, в яких вхідні та вихідні сигнали можуть мати цифрову або аналогову природу.

Моделі елементів з одним входом та одним виходом

Моделі ідеальних елементів з одним входом та виходом можуть визначатися найпростішими ступінчастими передатними функціями, які зображені на рис.1 і характеризують поведінку моделей у всьому діапазоні нормованих вхідних та вихідних сигналів. На логіко-функціональному рівні використовується поняття сигналу, без конкретизації певного носія [1].

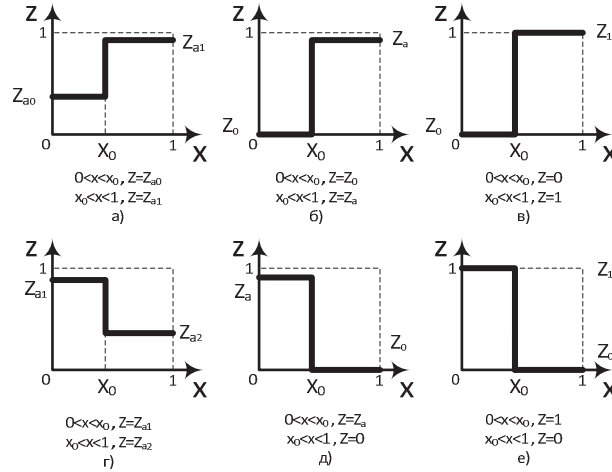


Рисунок 1 - Ступінчасті передатні функції елементів з одним входом та одним виходом

Передатні функції моделей «перетворювач рівня сигналу» з включенням більш високого рівня вихідного сигналу Z_{a1} значенням вхідного сигналу $X > X_0$ (рис.1а), та значенням $X < X_0$ (рис.1г), де X_0 – поріг спрацювання.

На рис. 1б та 1д зображені передатні функції моделей елементів, які генерують аналогове значення вихідного сигналу Z_a за значенням вхідного сигналу $X > X_0$, або значення Z_a значенням $X < X_0$.

На рис.1в та 1е наведені передатні функції цифрових елементів «повторювач сигналу» та відповідно «інвертор сигналу».

Такі передатні функції можуть мати тільки ідеальні елементи з нескінченно великим коефіцієнтом підсилення в точці X_0 . Однак на відміну від одно входової моделі «примітиву», яка використовується в теорії перемикаючих функцій, модель того ж «примітиву» з передатною функцією має параметр X_0 – поріг спрацювання.

Більш складна модель одно входового елемента обробки інформації визначається кусково-лінійною передатною функцією, яка складається з трьох відрізків, обмежених чотирма вузлами 1, 2, 3, 4, як це показано на рис.2а та рис.2д.

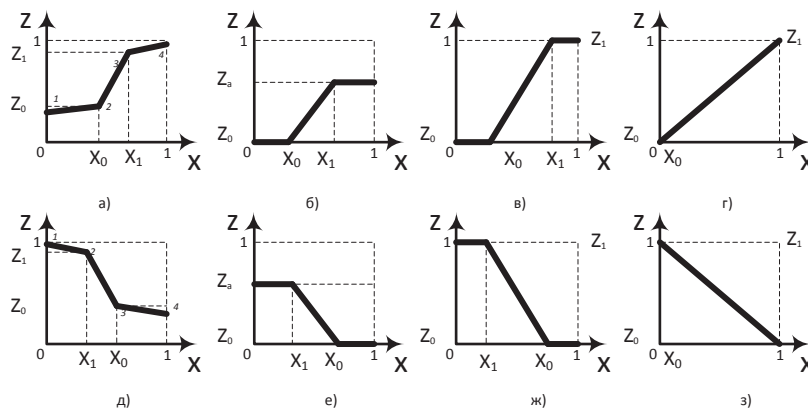


Рисунок 2 - Кусково-лінійні передатні функції елементів з одним входом та одним виходом

Кусково-лінійна функція визначається системою рівнянь

$$Z = \begin{cases} Z_1 + [(Z_2 - Z_1)/(X_2 - X_1)](X - X_1); & X_1 < X \leq X_2; \\ Z_2 + [(Z_3 - Z_2)/(X_3 - X_2)](X - X_2); & X_2 < X \leq X_3; \\ Z_3 + [(Z_4 - Z_3)/(X_4 - X_3)](X - X_3); & X_3 < X \leq X_4. \end{cases}$$

Вирази $(Z_2 - Z_1)/(X_2 - X_1) = K_1$; $(Z_3 - Z_2)/(X_3 - X_2) = K_2$; $(Z_4 - Z_3)/(X_4 - X_3) = K_3$ мають назву коефіцієнтів перетворення. Для функції рис.2а знаходяться в діапазонах $0 < (K_1, K_3) < 1$; $K_2 > 1$. Коефіцієнти перетворення функції рис.2 д лежать у діапазонах $0 > (K_1, K_3) > -1$; $K_2 < -1$.

На середній ділянці передавальної характеристики елемент підсилює модуль вхідного сигналу, а на першій та третій ділянках наближає вихідний сигнал до 0 або 1, тобто формує його як цифровий.

В залежності від взаємного положення вузлів 1, 2, 3, 4 передатна характеристика може бути такою, якою вона зображена на рис.2б, в, г, е, ж, з.

Якщо у передатній функції рис.2а $Z_1 = Z_2 = 0$, а $Z_3 = Z_4 = Z_a$, або $Z_1 = Z_2 = Z_a$; $Z_3 = Z_4 = 0$, то вона має вигляд функцій на рис.2б та рис.2е відповідно. Така функція може бути у елемента, що генерує значення Z_a аналогової величини за умов $X > X_1$ або $X < X_1$ відповідно. На ділянці X_0, X_1 вихідне значення Z_a не визначено.

На рис.2в та рис.2ж передатні функції моделей відповідають аналоговим підсилювачам типу rail-to-rail з прямим та інверсним входами, якщо вхідний сигнал змінюється на ділянці X_0, X_1 , або цифровим елементам «повторювач» або «інвертор», для яких на ділянці X_0, X_1 вихідний сигнал не визначений.

На рис.2г у передатній функції $X_1 = X_2 = Z_1 = Z_2 = 0$; $X_1 = X_2 = Z_1 = Z_2 = 1$; коефіцієнт перетворення $K_2 = 1$, що характерно для моделі операційного підсилювача-повторювача.

Передатна функція рис.2з має $X_1 = X_2 = Z_1 = Z_2 = 1$; $X_1 = X_2 = Z_1 = Z_2 = 0$; коефіцієнт перетворення $K_2 = -1$, і відповідає операційному підсилювачу-інвертору.

На функціонально-логічному рівні за допомогою системи Місросар 9.0 були отримані передатні характеристики цифрових інвертуючих елементів мікросхеми ТТЛ типу 74ALS00А та мікросхеми КМОН типу 74АС00, які подібні до передатної характеристики рис.2ж.

Для мікросхеми 74ALS00А $Z_1 = 3,32$ В; $Z_0 = 0,28$ В; $X_1 = 1,4$ В; $X_0 = 1,401$ В. Розраховані коефіцієнти перетворення $K_1 = K_3 = 0$; $K_2 = (Z_1 - Z_0)/(X_1 - X_0) = 3,04$ В/ $-0,001$ В = -3040 .

При моделюванні на макрорівні в системі OrCAD 16.0 елемента ТТЛ, подібного до 74ALS00А, одержані такі дані: $Z_1 = 5,0$ В; $Z_0 = 0,0$ В; $X_1 = 1,3$ В; $X_0 = 1,7$ В. Розраховані коефіцієнти перетворення $K_1 = K_3 = 0$; $K_2 = (Z_1 - Z_0)/(X_1 - X_0) = 5,0$ В/ $-0,4$ В = $-12,5$.

Для мікросхеми КМОН типу 74АС00 моделювання на функціонально-логічному рівні дало наступні результати: $Z_1 = 4,99$ В; $Z_0 = 1,0$ мВ; $X_1 = 2,53$ В; $X_0 = 2,536$ В. Розраховані коефіцієнти перетворення $K_1 = K_3 = 0$; $K_2 = (Z_1 - Z_0)/(X_1 - X_0) = 4,99$ В/ $-0,006$ В = -832 .

Таким чином, передатні характеристики, одержані на функціонально-логічному рівні та на макрорівні за допомогою систем автоматизованого проектування, суттєво відрізняються між собою, особливо значеннями коефіцієнтів перетворення.

Моделі аналогових, аналого-цифрових та цифро-аналогових елементів з двома входами та одним виходом

Кожен елемент обробки інформації з двома входами та одним виходом складається з наступних функціональних блоків нижчого рівня (рис.3):

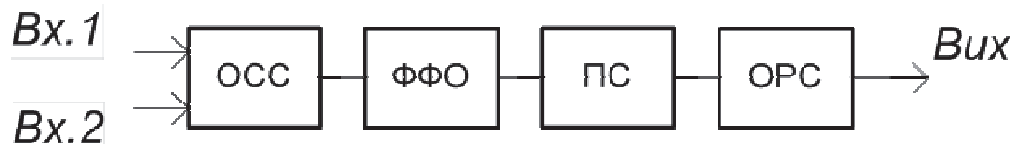


Рисунок 3 - Функціональний склад елемента обробки інформації

- обмежувача споживання енергії вхідного сигналу (ОСС);
- формувача функції обробки сигналу (ФФО);
- підсилювача сигналу (ПС);
- обмежувача рівнів вихідного сигналу (ОРС).

В залежності від форми вхідних, вихідних сигналів та особливостей формувача функції обробки сигналу всі елементи можливо розподілити на 6 типів (табл.1).

Таблиця 1 - Типи елементів обробки інформації в залежності від форми вхідних та вихідного сигналів

NN пп	Вх.1	Вх.2	Вихід
1	А	А	А
2	Ц	А	А
3	Ц	Ц	А
4	Ц	А	Ц
5	А	А	Ц
6	Ц	Ц	Ц

Назви типу елементів за номером, відповідно до нумерації табл.1, наведено нижче.

1. Аналоговий елемент.
2. Аналоговий елемент з цифровим керуванням.
3. Цифро-аналоговий елемент.
4. Цифровий елемент з аналоговим керуванням.
5. Аналого-цифровий елемент.
6. Цифровий елемент.

Ці елементи мають два входи та один вихід, тому цілком логічно проаналізувати передатні характеристики їх моделей у тривимірному просторі.

Типовим представником аналогового елемента є операційний підсилювач, який може бути включений за різними схемами. На рис.4а наведено передатну характеристику підсумовувача двох аналогових сигналів X та Y з інверсією.

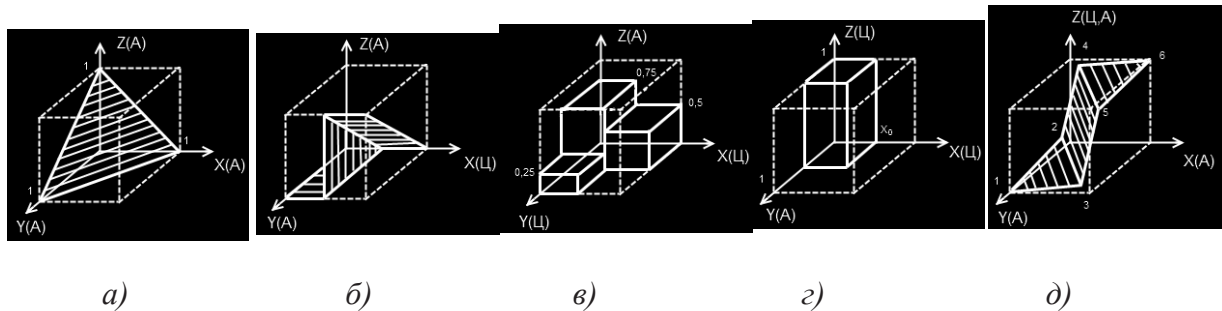


Рисунок 4 - Кусково-площинні передатні функції двох змінних в залежності від форми вхідних та вихідного сигналів

Для моделі аналогового елемента з цифровим керуванням, яким є аналоговий ключ, з відкриванням його одиничним цифровим керуючим сигналом, передатна характеристика зображена на рис.4б.

Передатна характеристика моделі цифро-аналогового елемента, який при одиничному значенні вхідного цифрового сигналу X генерує значення вихідного аналогового сигналу $Z_{aX} = 0,25$, а при одиничному значенні вхідного цифрового сигналу Y генерує значення $Z_{aY} = 0,5$ та підсумовує ці два вихідні сигнали $Z_a = Z_{aX} + Z_{aY}$, зображена на рис. 4в.

Модель цифрового елемента з аналоговим керуванням має передатну характеристику, яка зображена на рис.4г. Для неї цифровий вихідний сигнал $Z = 0$, якщо вхідний аналоговий сигнал має значення $Y > X_0$, та $Z = 1$ за $Y < X_0$.

Якщо входи X та Y аналогові, а вихід Z цифровий, то передатна характеристика такої моделі зображена на рис.4д і цим елементом є компаратор аналогових сигналів. Вихідне цифрове значення його не визначено, якщо вхідні сигнали знаходяться у площині 2, 3, 4, 5. Для вхідних сигналів у цьому діапазоні модель виконує функцію операційного підсилювача без зворотного зв'язку, тобто є моделлю аналогового елемента.

Моделі цифрових елементів з двома входами та одним виходом

На рис.5 наведені ступінчасті передатні функції моделей цифрових елементів з двома входами та одним виходом. Сигнали на входах X , Y та виході Z можуть приймати довільні значення у діапазоні від 0 до 1. Поріг спрацювання КМОП інвертора, результати моделювання якого наведені у даній статті, дорівнює 0,5.

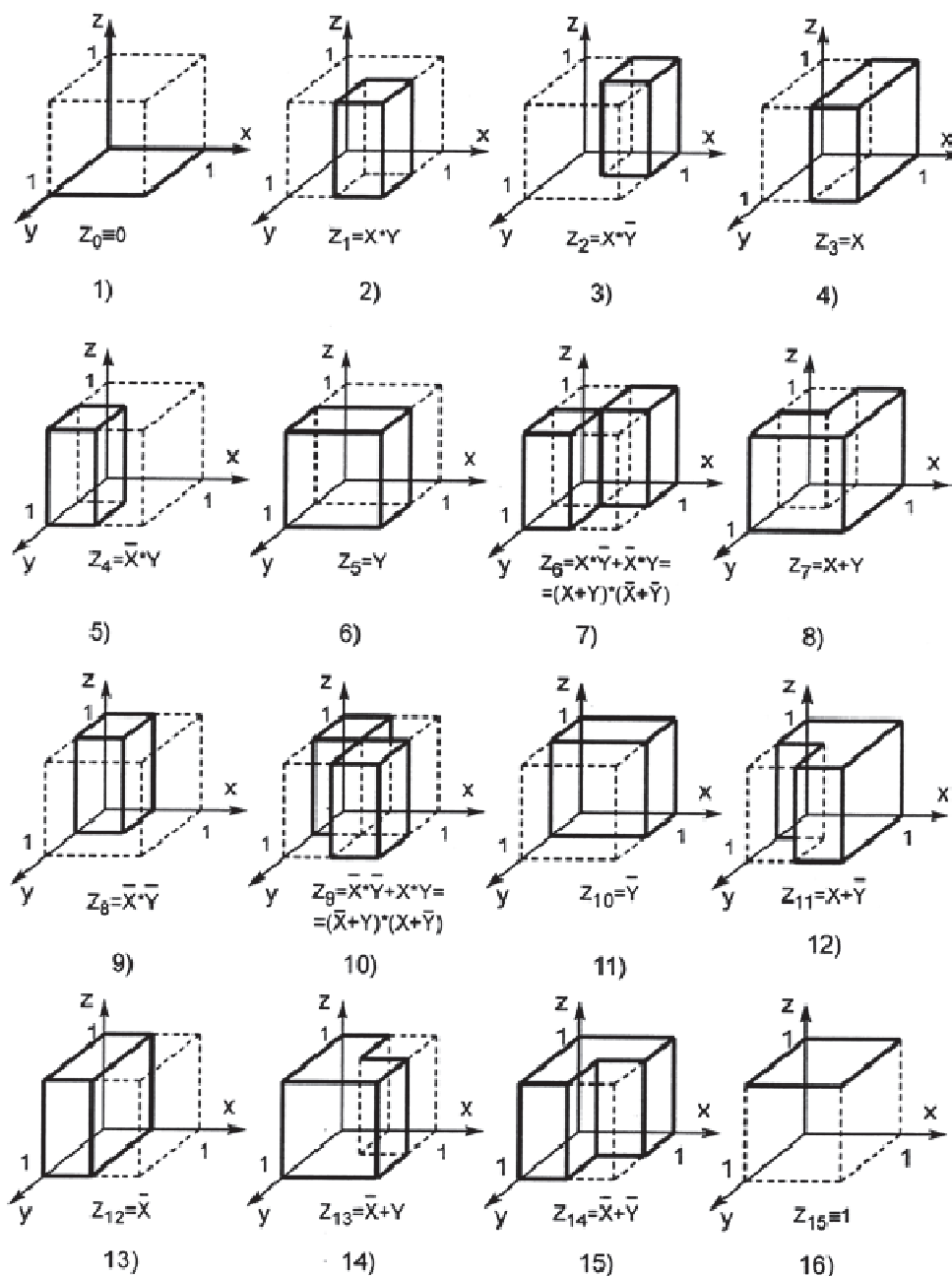


Рисунок 5 - Передатні функції цифрових елементів з двома входами

Під графічним зображенням кожної передавальної функції розміщено її формульне зображення через перемикаючі функції кон'юнкцію І, диз'юнкцію АБО, інверсію НІ, причому знак "*" відповідає кон'юнкції, а знак "+" - диз'юнкції.

Класифікація функцій за геометричними ознаками наведена на рис.6.

Функції Z_0 та Z_{16} типу "плато" дорівнюють відповідно 0 і 1, вони впроваджені в системі функцій однієї змінної.

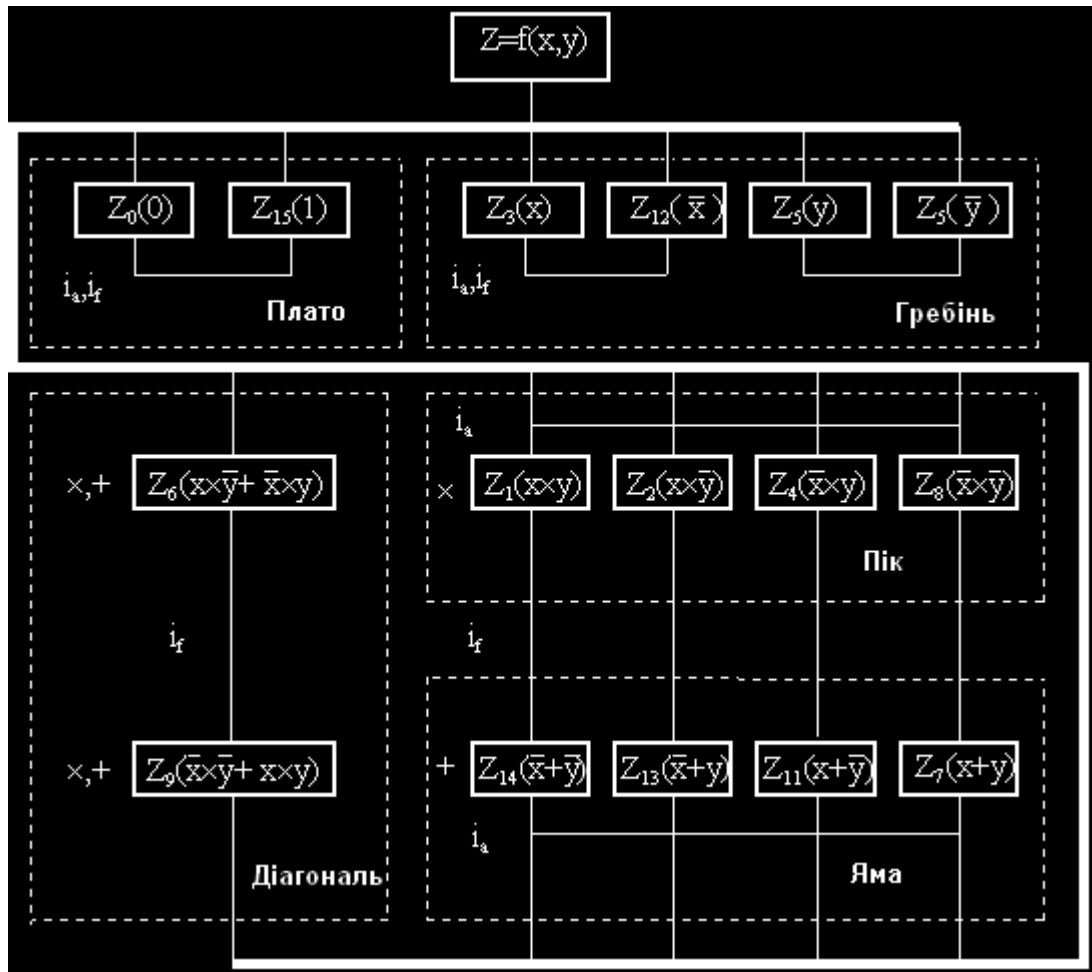


Рисунок 6 - Класифікація передавальних функцій двох змінних за геометричними ознаками.

Функції Z_3, Z_5, Z_{10}, Z_{12} типу “гребінь” фактично є функціями однієї змінної або їх інверсій, вони також впроваджені в системі функцій однієї змінної. Інверсія змінної дорівнює інверсії функції.

Функції Z_1, Z_2, Z_4, Z_8 типу “пік” є об’єм, який виникає на місці перехрещення двох функцій типу “гребінь” відомі як кон’юнкція двох змінних або їх інверсій та мають назву конститuentи одиниці. За допомогою кон’юнкції з об’єму 1:1:1 виділяють елементарний об’єм 0,5:0,5:1.

Функції $Z_7, Z_{11}, Z_{13}, Z_{14}$ типу “яма” відповідають об’єму, який займають дві функції типу “гребінь”, відомі як диз’юнкція двох змінних або їх інверсій, та мають назву конститuentи нуля. Диз’юнкція дозволяє з часткових об’ємів сформувати один цілісний об’єм.

Функції Z_6 і Z_9 типу “діагональ” відповідає сумарному об’єму двох функцій типу “пік” або перехрещенню двох функцій типу “яма”, що визначається як диз’юнкція або кон’юнкція відповідних функцій.

Інверсія функцій типу “пік” відповідає доповненню цієї функції до одиничного об’єму, або однієї з функцій типу “яма”, та навпаки. Таким чином, $NI(Z_1)=Z_{14}, NI(Z_2)=Z_{13}, NI(Z_4)=Z_{11}, NI(Z_8)=Z_7$.

Функції Z_6 та Z_9 також є інверсією одна одної.

Якщо комбінувати об’ємні моделі функцій з рис.5, можливо з геометричних міркувань одержати відомі формули для системи функцій: поглинання, склеювання, формули де Моргана.

Питання про функціонально повну систему функцій, яка дозволяє сконструювати через них довільну функцію з цього класу або питання про ортогональний базис, вирішено в літературі [4, 5]. Найбільш прийнятною з практичних міркувань для синтезу пристроїв ЕОМ є система функцій, яка складається з кон’юнкції, диз’юнкції та інверсії [5].

В геометричній інтерпретації це означає вичленування елементарного об’єму (кон’юнкція) та об’єднання цих об’ємів (диз’юнкція) довільних функцій та доповнення довільної функції до одиничного об’єму (інверсія).

З рис.6 витікає, що диз'юнктивні та кон'юнктивні функції пов'язані між собою інверсією. Інверсія, в свою чергу, є окремим випадком кон'юнктивної функції Z_8 (стрілка Пірса) або диз'юнктивної функції Z_{14} (штрих Шефера), який реалізується при $X=Y$.

Таким чином, симетричні по відношенню до інверсії двох змінних, функції Z_8 та Z_{14} , самі є кожна ортогональним базисом для всіх 16 логічних функцій двох змінних.

Передавальні характеристики елементів, які реалізують перелічені 16 логічних функцій, можливо апроксимувати не тільки ступінчастими, а й кусково-площинними функціями, як це зроблено для аналого-цифрових елементів.

Висновки

1. В роботі запропоновано проводити розрахунок та моделювання аналого-цифрових пристроїв на основі єдиної теоретичної бази, а саме теорії передавальних функцій.

2. Розроблена класифікаційна таблиця моделей елементів обробки інформації з двома входами, в якій, в залежності від форми подання інформації на входах та виході, всі елементи розподіляються на 6 типів.

3. Наведені тривимірні моделі передатних функцій всіх 6 типів моделей елементів обробки інформації.

4. Виконана класифікація моделей цифрових елементів з двома входами за геометричними ознаками передатних функцій.

5. За допомогою систем моделювання Місросар 9.0 та OrCAD 16.0 одержано передатні функції моделей цифрових елементів типу «інвертор» на функціонально-логічному рівні та макрорівні. Показано, що параметри моделей різних рівнів одного й того ж самого елемента суттєво відрізняються.

Список використаної літератури

1. Норенков И.П. Основы автоматизированного проектирования.- М.: МГТУ им.Н.Э.Баумана, 2002. - 336 с.
2. Гаврилов Л. Системы автоматизированного проектирования (САПР) аналоговых и аналого-цифровых устройств. -М.: Электронные компоненты, 2000.- №3.- 2000.- С.61-66.
3. Разевиг В.Д. Система проектирования OrCAD 9.2.- М.: СОЛОН-Р, 2003.- 528 с.
4. Глушков В.М. Синтез цифровых автоматов. - М.: ФМгиз, 1962. -476 с.
5. Вавилов Е.Н., Портной Г.П. Синтез схем электронных цифровых машин. -М.: Сов.радио, 1963. - 440 с.

Відомості про авторів

Багацький Валентин Олексійович – д.т.н., провідний науковий співробітник Інституту кібернетики ім.В.М.Глушкова НАН України, м. Київ, пр. Глушкова, 40, (044) 526-34-51.

Багацький Олексій Валентинович – молодший науковий співробітник Інституту кібернетики ім.В.М.Глушкова НАН України, м. Київ, пр. Глушкова, 40, (044) 526-34-51.

КОМП'ЮТЕРНІ СИСТЕМИ ТА КОМПОНЕНТИ

УДК 536.24:628.477

Г. С. РАТУШНЯК, К. В. АНОХІНА

Вінницький національний технічний університет, Вінниця

ЕКСПЕРТНА СИСТЕМА НА БАЗІ НЕЧІТКОЇ ЛОГІКИ ПРОГНОЗУВАННЯ ПРОДУКТИВНОСТІ БІОГАЗОВОЇ УСТАНОВКИ З МЕХАНІЧНИМ ПЕРЕМІШУВАЛЬНИМ ПРИСТРОЄМ

Анотація: В роботі запропоновано експертну систему на базі нечіткої логіки прогнозування продуктивності біогазової установки для моделювання виходу біогазу, яка дозволяє за визначеними кількісними і якісними факторами прогнозувати вихід біогазу. Це дає можливість оптимізувати технологічний процес анаеробного бродіння субстрату з метою збільшення продуктивності біогазових установок та зменшення їх енергоємності. Виконано числовий експеримент впливу частоти обертання лопатевого вертикального перемішувача та подрібненості сировини на ефективність процесу анаеробного бродіння субстрату за результатами комп'ютерного математичного моделювання з використанням експертно-модельної системи на базі нечіткої логіки.

Ключові слова: експертна система, нечітка логіка, біогаз, біогазова установка, інтенсифікація, перемішування.

Вступ

Перспективним методом отримання альтернативної енергії є виробництво біогазу завдяки технологічному процесу біоконверсії [1, 2]. Необхідною умовою безперервного інтенсивного протікання мікробіологічного процесу анаеробного бродіння субстрату та підвищення його ефективності в біогазових установках є перемішування [3]. Технологічний процес виробництва біогазу в результаті анаеробного мікробіологічного бродіння субстрату не завжди має адекватний аналітичний опис в зв'язку з недостатнім вивченням його внутрішніх особливостей. Виникає необхідність розв'язання задачі керування параметрами процесу біоконверсії на основі взаємозв'язку вхідних і вихідних кількісних та якісних змінних процесу. Для вирішення цієї задачі доцільно використовувати математичний апарат нечіткої логіки та лінгвістичної змінної [4, 5].

Постановка задачі дослідження

Найважливішим критерієм якості протікання процесу біоконверсії є кількість біогазу на виході. Тому прогнозування вихідного показника біогазу залежно від кількісних та якісних факторів впливу, зокрема механічного перемішування, є необхідним елементом проектування систем біоконверсії.

Метою роботи є створення на базі теорії нечіткої логіки та лінгвістичних змінних експертної системи прогнозування продуктивності біогазової установки для моделювання виходу біогазу в залежності від основних факторів впливу, одним із провідних з яких є інтенсифікація процесу біоконверсії перемішуванням субстрату.

Основна частина

Моделювання на базі нечіткої логіки та лінгвістичних змінних прогнозування продуктивності біогазової установки дозволяє визначити параметри, вдосконалення яких підвищує ефективність процесу анаеробного бродіння субстрату [3]. Важливим фактором впливу на продуктивність біогазової установки [6] є інтенсифікація бродіння за допомогою механічного перемішувального пристрою в біогазовій установці (рис. 1). На рис. 1 наведено конструктивну схему біогазової установки, в якій передбачено за допомогою лопатевого механічного перемішувального пристрою активізувати процеси ферментації шляхом рівномірного розподілу температури та концентрації субстрату в об'ємі установки [6].

Установка працює наступним чином. Субстрат надходить до резервуару 1 через бункер завантаження біомаси 7, коли відкрито шиберну засувку 8. Всередині резервуару 1 вертикальна пропелерна мішалка 4, що розміщена на пустотілому валу 5, перемішує субстрат для інтенсифікації анаеробного бродіння шляхом створення однорідної маси. По завершенню процесу органічна маса видалається через отвір для видалення відпрацьованого субстрату 15 при відкритій другій шиберній засувці 14. Утворений в результаті бродіння біогаз піднімається у верхню частину резервуару 1 крізь захисну газорозподільну решітку 6 та при відкритому крані 10 надходить до труби споживача 9. Резервуар 1 обгорнуто нагрівальною рубашкою 13, заповненою рідиною, яка рухається по трубопроводу циркуляції рідини 11 за допомогою насосу 12. Рідина проходить крізь стиснені перфорацією 3 отвори та нагрівається силами тертя. Внаслідок цього нагрівальна рубашка 13, що вкрита утеплювачем 2, передає теплоту субстрату всередині резервуару 1, нагріваючи його рівномірно по всьому об'єму. Встановлена вертикальна пропелерна мішалка та нагрівальна рубашка покращує процес анаеробного бродіння органічної маси завдяки створенню рівномірності розподілення температурного поля та однорідності консистенції субстрату в усьому об'ємі установки.

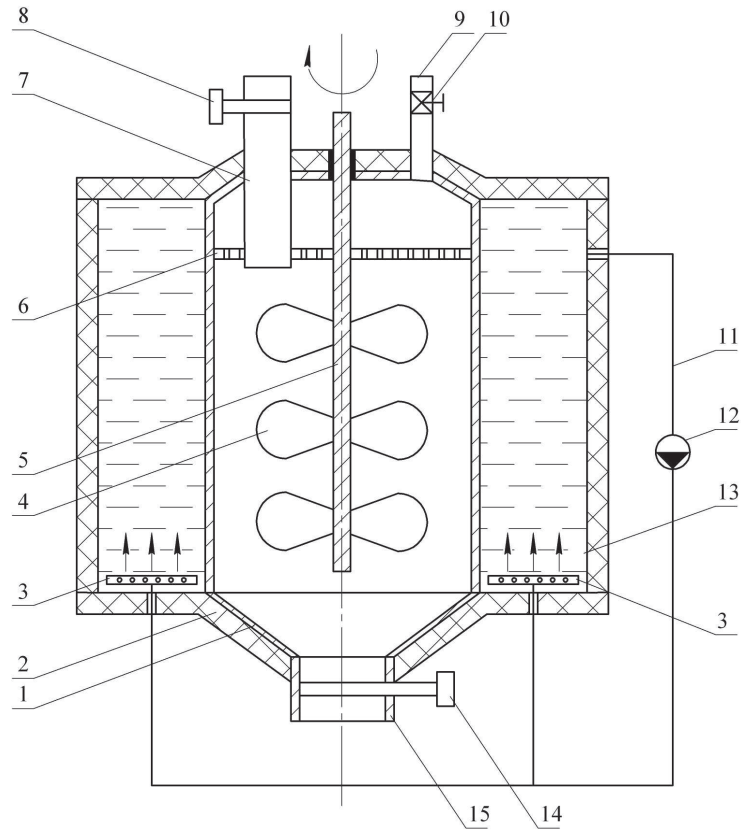


Рисунок 1 – Конструктивна схема установки для виробництва біогазу з механічним перемішувальним пристроєм та нагрівальною рубашкою

Для створення на базі теорії нечіткої логіки та лінгвістичних змінних експертної системи прогнозування продуктивності біогазової установки з механічним перемішувальним пристроєм визначено кількісні та якісні змінні процесу перемішування субстрату. Інтенсифікація процесу анаеробного бродіння механічним перемішуванням характеризується параметрами (табл. 1): частота обертання перемішувача (p_1), конструктивні особливості (вид) мішалки (p_2) і площа перемішування (p_3).

Таблиця 1 – Параметри процесу анаеробного бродіння субстрату як лінгвістичні змінні

Параметр	Позначення й назва змінної	Універсальна множина	Терми для оцінки
Механічне перемішування, (P)	p_1 – частота обертання перемішувача	(1...10), об/хв	мала, задовільна, висока
	p_2 – вид мішалки	(1...3), у.о.	пропелерна, шнекова, лопатева
	p_3 – площа перемішування	(1...2), у.о.	горизонтальна, вертикальна

Нечітку матрицю знань, яка моделює вплив і параметри механічного перемішування на процес бродіння субстрату, наведено в табл. 2. Отримана матриця знань вказує залежність виходу біогазу від частоти обертання перемішувача, виду мішалки та площини перемішування.

Лінгвістичним висловлюванням, які наведено в табл. 1, відповідає наступна система нечітких логічних рівнянь

$$\mu^H(P) = \mu^H(p_1) \wedge \mu^II(p_2) \wedge \mu^{ГP}(p_3) \vee \mu^H(p_1) \wedge \mu^II(p_2) \wedge \mu^{BP}(p_3), \quad (1)$$

$$\mu^C(P) = \mu^C(p_1) \wedge \mu^{III}(p_2) \wedge \mu^{BP}(p_3) \vee \mu^C(p_1) \wedge \mu^{III}(p_2) \wedge \mu^{ГP}(p_3), \quad (2)$$

$$\mu^B(P) = \mu^B(p_1) \wedge \mu^L(p_2) \wedge \mu^{BP}(p_3) \vee \mu^B(p_1) \wedge \mu^L(p_2) \wedge \mu^{GP}(p_3). \quad (3)$$

Згідно лінгвістичних значень факторів, що наведені в [7], отримано функції належності терм-множин (табл. 3-5).

Таблиця 2 – Нечітка матриця знань про механічне перемішування

p_1	p_2	p_3	P
Низька	Пропелерна	Горизонтальна	Низьке
Низька	Пропелерна	Вертикальна	
Середня	Шнекова	Вертикальна	Середня
Середня	Шнекова	Горизонтальна	
Висока	Лопатева	Вертикальна	Висока
Висока	Лопатева	Горизонтальна	

Таблиця 3 – Функції належності терм-множини $T(p_1)$ – частота обертання перемішувача

u_i , об/хв	1	3	5	8	10
$\mu^{\text{мала}}(u_i)$	1	0,65	0,42	0,32	0,1
$\mu^{\text{задовільна}}(u_i)$	0,21	0,55	1	0,76	0,11
$\mu^{\text{висока}}(u_i)$	0,11	0,31	0,53	0,83	1

Таблиця 4 – Функції належності терм-множини $T(p_2)$ – вид мішалки

u_i , у.о.	1	1.5	2	2.5	3
$\mu^{\text{пропелерна}}(u_i)$	1	0,91	0,78	0,34	0,09
$\mu^{\text{шнекова}}(u_i)$	0,11	0,56	1	0,76	0,21
$\mu^{\text{лопатева}}(u_i)$	0,21	0,55	0,79	0,89	1

Таблиця 5 – Функції належності терм-множини $T(p_3)$ – площа перемішування

u_i , у.о.	1	1,25	1,5	1,75	2
$\mu^{\text{горизонтальна}}(u_i)$	1	0,77	0,43	0,21	0,15
$\mu^{\text{вертикальна}}(u_i)$	0,1	0,22	0,42	0,75	1

В результаті підстановки ступенів належності (табл. 3-5) в систему нечітких логічних рівнянь (1)-(3), що визначають рівень механічного перемішування, отримано рівняння функції належності

$$\mu^I(P) = 0,32 \wedge 0,91 \wedge 0,77 \vee 0,32 \wedge 0,91 \wedge 0,22 = 0,32, \quad (4)$$

$$\mu^{\hat{N}}(P) = 0,32 \wedge 0,55 \wedge 0,22 \vee 0,76 \wedge 0,55 \wedge 0,77 = 0,55, \quad (5)$$

$$\mu^{\hat{A}}(P) = 0,83 \wedge 0,55 \wedge 0,22 \vee 0,83 \wedge 0,55 \wedge 0,77 = 0,55. \quad (6)$$

Експертну систему на базі нечіткої логіки прогнозування продуктивності біогазової установки для моделювання виходу біогазу в залежності від основних факторів впливу реалізовано в середовищі Matlab. Для її створення запропоновано архітектуру системи технологічного процесу бродіння субстрату на базі нечіткої логіки (рис. 2).

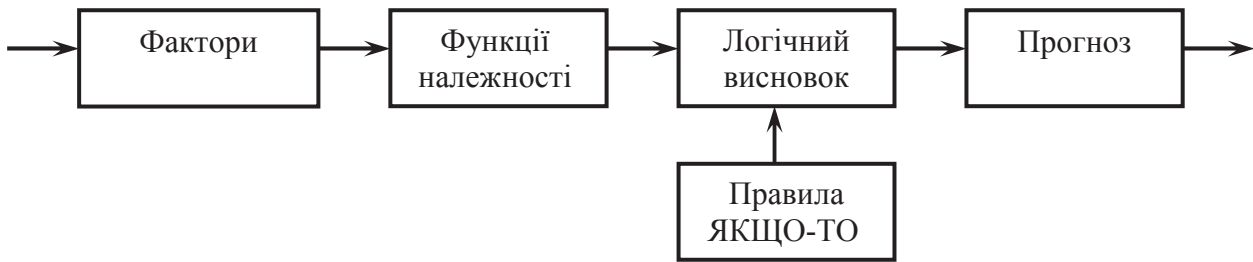


Рисунок 2 – Архітектура експертно-моделюючої системи оцінки продуктивності біореакторів

Експертна система на базі нечіткої логіки прогнозування продуктивності біогазової установки складається з таких блоків:

1. *Блок фактори.* В цьому блоці задається кількість факторів впливу на ефективність процесу анаеробного бродіння субстрату, зберігаються межі цих факторів та їх поточні значення.
2. *Блок функції належності* зберігає моделі таких типів функцій належностей як трикутна, трапецієдальна, гаусівська та дзвоноподібна.
3. *Блок правила «ЯКЩО-ТО»* зберігає лінгвістичні висловлювання у вигляді правил «Якщо-то» для кожного рівня ієрархії системи біоконверсії.
4. *Блок логічний висновок* реалізує нечіткий логічний висновок за формулами (1)-(3).
5. *Блок прогноз.* В цьому блоці здійснюється прогноз виходу біогазу, шляхом процедури дефазифікації за методом «centroid».

Рисунок 3 – Інтерфейс експертно-моделюючої системи на базі нечіткої логіки прогнозування продуктивності біогазової установки з механічним перемішувальним пристроєм

Для даного прикладу вихід біогазу розглядається в діапазоні 6...30 м³/доб. для біогазової установки об'ємом 6 м³. Згідно цих даних в середовищі Matlab побудовано експертно-моделюючу систему. Інтерфейс експертної системи на базі нечіткої логіки прогнозування продуктивності біогазової установки для моделювання виходу біогазу зображено на рис. 3.

Експертно-моделююча система прогнозування продуктивності біогазової установки (рис. 3) дозволяє прогнозувати вплив кожного параметру анаеробного бродіння субстрату на загальний процес виробництва біогазу.

Експертно-моделююча система прогнозування продуктивності біогазової установки дозволяє приймати обґрунтовані рішення щодо управління технологічним процесом біоконверсії на етапах виробництва біогазу. Інтерфейс експертно-моделюючої системи представляє собою вікно програми, де закладено фактори впливу на процес біоконверсії. Варіюючи цими факторами можливо спрогнозувати продуктивність біогазової установки. Зазначаючи числові значення факторів впливу у відповідні вічка програми, експертно-моделююча система розраховує вихід біогазу.

За результатами комп'ютерного математичного моделювання з використанням експертно-моделюючої системи на базі нечіткої логіки прогнозування продуктивності біогазової установки з механічним перемішувальним пристроєм виконано числовий експеримент впливу частоти обертання лопатевого вертикального перемішувача та подрібненості сировини на ефективність процесу анаеробного бродіння субстрату, що визначається виходом біогазу. Числовий експеримент виконано за наступних умов: кислотність середовища – рН 7; вміст токсичних речовин – 210 мг/л; вологість сировини – 90 %; конструкція біогазового реактора – середній циліндричний реактор з автоматизованим управлінням і термічним опором стінки 4 м²·°C/Вт; інтенсифікація теплообміну – вертикальною лопатевою мішалкою; частота обертання перемішувача – 0...15 хв⁻¹.

Графічно результати комп'ютерного числового експерименту наведено на рис. 4.

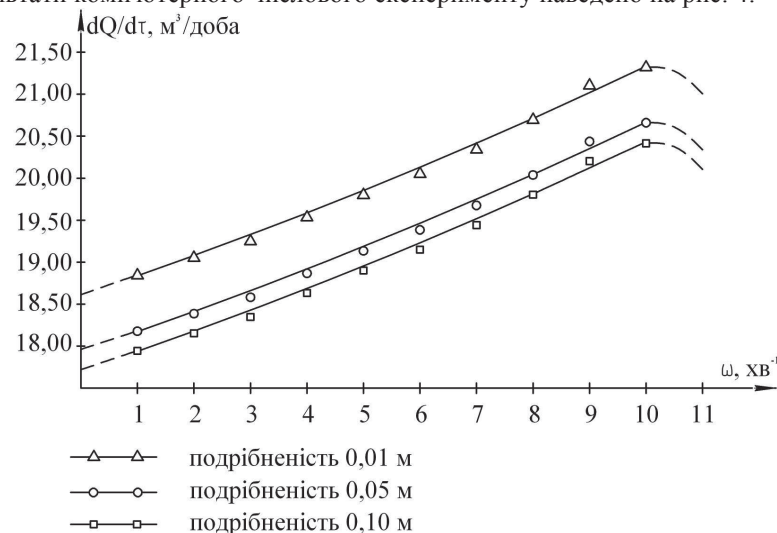


Рисунок 4 – Залежність виходу біогазу в результаті анаеробного бродіння субстрату в біогазовій установці від частоти обертання перемішувача за таких умов: вид мішалки – лопатева; площа перемішування – вертикальна

Аналіз отриманих результатів (рис. 4) свідчить, що інтенсифікація процесу анаеробного бродіння за допомогою механічного перемішувального пристрою впливає на продуктивність біогазової установки, зокрема збільшує вихід біогазу з одиниці об'єму субстрату. В результаті перемішування субстрату лопатевою вертикальною мішалкою в біогазовій установці вихід біогазу можливо збільшити на 12,5%, а із збільшенням подрібненості субстрату – на 5,7%. Інтенсифікація анаеробного бродіння перемішуванням, параметр якого сягає більше 10 хв⁻¹, знижує ефективність ферментації субстрату та погіршує бродіння органічної маси в біогазовій установці [1-3].

Висновок

Запропонована експертна система на базі нечіткої логіки прогнозування продуктивності біогазової установки для моделювання виходу біогазу дозволяє за визначеними кількісними і якісними факторами прогнозувати вихід біогазу. Це дає можливість оптимізувати технологічний процес анаеробного бродіння субстрату з метою збільшення продуктивності біогазових установок та зменшення їх енергоємності. За результатами числового експерименту виявлено, що перемішуванням субстрату в біогазовій установці можливо підвищити ефективність виробництва біогазу на 12,5%, а збільшенням подрібненості субстрату – на 5,7% при заданих вихідних умовах.

Список використаної літератури

1. Ратушняк Г. С. Інтенсифікація біоконверсії коливальним перемішуванням субстрату / Г. С. Ратушняк, В. В. Джеджула. – Вінниця: УНІВЕРСУМ-Вінниця, 2008. –117 с. – ISBN 978-966-641-272-3.
2. Ратушняк Г. С. Шляхи вдосконалення енергоощадних технологій при утилізації органічних відходів в системах біоконверсії/ Г. С. Ратушняк, К. В. Анохіна, В. В. Джеджула // Вісник національного університету "Львівська політехніка". Теплоенергетика. Інженерія довкілля. Автоматизація. – 2009. – №659. – С. 151-153.
3. Землянка О. О. Дослідження впливу флотаційних процесів на продуктивність біогазової установки/ О. О. Землянка, М. В. Губінський // Вісник ВПІ. – 2010. – №3. – С. 75-80. – ISSN 1997-9266.
4. Ротштейн А. П. Интеллектуальные технологии идентификации. Нечеткие множества, генетические алгоритмы, нейронные сети/ А. П. Ротштейн. – Винница: УНІВЕРСУМ-Вінниця, 1999. – 320 с.
5. Ротштейн О. П. Soft Computing в біотехнології: багатофакторний аналіз і діагностика: Монографія/ О. П. Ротштейн, Є. П. Ларюшкін, Ю. І. Мітюшкін. – Вінниця: УНІВЕРСУМ-Вінниця, 2008. – 144 с.
6. Пат. 36453 Україна, МПК С 02 F 11/04. Біогазова установка/ Ратушняк Г.С., Анохіна К.В.; Державний департамент інтелектуальної власності. – № u200806844; Заявл. 19.05.2008; опубл. 27.10.2008, Бюл. №20.
7. Ратушняк Г. С. Модельовання з використанням лінгвістичних змінних інтенсифікації процесу біоконверсії перемішуванням субстрату/ Г. С. Ратушняк, К. В. Анохіна // Вібрації в техніці та технології. – 2010.

Відомості про авторів

Ратушняк Георгій Сергійович – к.т.н., професор, зав. кафедри Теплогазопостачання, директор Інституту будівництва теплоенергетики і газопостачання, e-mail: ratushnyak@inbtegp.vstu.vinnica.ua, тел. 598-357.

Анохіна Катерина Володимирівна – аспірант каф. Теплогазопостачання, e-mail: anokhinakatyua@mail.ru, тел. 598-357.

МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ТА ОБЧИСЛЮВАЛЬНІ МЕТОДИ

УДК 004.932

Р. Н. КВЕТНИЙ, Є. М. БОЧКОВ

Вінницький національний технічний університет, Вінниця

МЕТОД ВИДІЛЕННЯ КОНТУРІВ НА ОСНОВІ ВЕЙВЛЕТ-ПЕРЕТВОРЕННЯ З ВИКОРИСТАННЯМ ДВОВИМІРНИХ ФІЛЬТРІВ

Анотація. Представлено модифікацію контурного детектору Канні з використанням нелінійного методу контрастування на основі вейвлет-перетворення. Розглянуто існуючі методи контрастування на основі вейвлет-перетворення. Досліджено особливості їх реалізації та характеристики. Запропоновано метод контрастування з використанням двовимірних фільтрів. Реалізовано методику оцінки якості виділення контуру. Проведено порівняння результатів роботи запропонованого методу та базового методу Канні.

Ключові слова: виділення контурів, вейвлет-перетворення, мультимасштабний аналіз, метод Канні, критерій Претта.

Вступ

В багатьох прикладних задачах розпізнавання та обробки зображень найважливішу інформацію, яку містить зображення, несуть його границі (обриси, контури). Контурями називають певні граничні лінії, що розділяють зображення на ділянки з різними властивостями. Контури є областями з високою концентрацією інформації, що слабо залежать від кольору та яскравості, оскільки переважна кількість інформації знаходиться в місцях зміни сигналу. Контур містить всю необхідну інформацію для розпізнавання зображення за його формою. Застосування контурного аналізу дає можливість отримати класифікатори, інваріантні до афінних перетворень зображень (розтягу, повороту), стійкі до зміни освітлення, текстури [1].

Результатом операції виділення контуру являється контурний препарат – бінарне зображення того ж розміру, що і вихідне зображення, білими точками якого є контурні точки [2].

Традиційно поняття контуру асоціювалось з перепадом яскравості, а виділення контурів, в свою чергу, ґрунтувалось на визначенні цих перепадів. Така інтерпретація контуру не являється єдиною можливою чи повною, проте дає можливість формалізації операції його виділення.

Процедура отримання контурного препарату включає наступні операції:

1. Підсилення перепадів яскравості або контрастування.
2. Зв'язування потенційних контурних точок.
3. Порогова обробка, результатом якої є бінарне зображення.
4. Потоншення контурних ліній [3].

Зазвичай операція контрастування виконується шляхом чисельного диференціювання, що полягає у згортці вихідного зображення з оператором, що є чисельною апроксимацією похідної двовимірної функції. Такі оператори є високочастотними фільтрами. Найвідомішими серед них є оператори Робертса, Превітта, Собеля, Фрей-Чена.

Основним недоліком усіх диференційних методів контрастування є висока чутливість до шуму, який як і контури, належить до високочастотної складової сигналу. Наявність шуму викликана недосконалістю знімальної апаратури, умовами зйомки, каналом передачі даних. До беззаперечних переваг диференційних методів належать швидкість роботи і простота реалізації. Для того, щоб зменшити вплив шуму на зображення, використовують низькочастотні фільтри, однак їх застосування призводить до отримання нечітких, погано локалізованих контурів, втрати деталей.

В багатьох сучасних роботах [2, 4, 7-12] пропонується застосовувати нелінійні методи контрастування, засновані на використанні вейвлет-перетворення.

Метою даної роботи було створення контурного детектору з використанням нелінійного методу контрастування на основі вейвлет-перетворення. В ході виконання поставленої задачі, було розглянуто існуючі методи контрастування на основі вейвлет-перетворення, досліджено особливості їх реалізації та характеристики, запропоновано метод контрастування з використанням двовимірних фільтрів, реалізовано методику оцінки якості виділення контуру, досліджено запропонований метод.

Контурний детектор Канні

Досить важливим в області виділення контурів є метод Канні. Він помітно вплинув на подальший розвиток цієї галузі та став основою для багатьох нових методів. Метод Канні є одним з найкращих диференційних методів [2].

Розроблюючи контурний детектор, Канні відштовхувався від трьох вимог. Першою вимогою є надійне визначення контурних точок з низькою ймовірністю їх пропуску та низькою ймовірністю визначення хибних. Другою умовою є близькість розташування контурних точок до справжнього місцезнаходження контуру. Останньою вимогою є те, що для кожного контуру має бути єдиний відклик.

Кількісно ці критерії можуть бути представлені у вигляді:

$$SNR(f) = \frac{A}{n_0} \cdot \frac{\left| \int_{-\infty}^0 f(x) dx \right|}{\left| \int_{-\infty}^{\infty} f^2(x) dx \right|^{\frac{1}{2}}},$$

$$Loc(f) = \frac{A}{n_0} \cdot \frac{|f'(0)|}{\left| \int_{-\infty}^{\infty} f'^2(x) dx \right|^{\frac{1}{2}}},$$
(1)

де A – амплітуда сигналу, а n_0^2 – дисперсія шуму. $SNR(f)$ визначає співвідношення «сигнал/шум», а $Loc(f)$ – локалізація фільтра $f(x)$.

Ввівши додатковий параметр S , що визначає розмір фільтра $f \rightarrow f_s$, маємо:

$$SNR(f_s) = \sqrt{S} SNR(f),$$

$$Loc(f_s) = \frac{1}{\sqrt{S}} Loc(f).$$
(2)

Так, збільшуючи розмір фільтра, ми збільшуємо співвідношення «сигнал-шум», але тим самим погіршуємо показник локалізації контуру.

Тоді результуючий критерій можна записати як:

$$J(f) = \frac{\left| \int_{-\infty}^0 f(x) dx \right|}{\left| \int_{-\infty}^{\infty} f^2(x) dx \right|^{\frac{1}{2}}} \cdot \frac{|f'(0)|}{\left| \int_{-\infty}^{\infty} f'^2(x) dx \right|^{\frac{1}{2}}}$$
(3)

Оптимальний фільтр(у випадку зображень, зіпсованих нормальним шумом), отриманий з цих вимог, може бути апроксимований за допомогою першої похідної від гаусіана:

$$f(x) = -\frac{x}{\sigma^2} e^{-\frac{x^2}{2\sigma^2}}.$$
(4)

Значення параметру середньоквадратичного відхилення гаусіана σ , залежить від розміру об'єктів, що містить зображення і визначається емпірично [4].

Метод складається з наступних етапів.

Вихідне зображення згладжується з гаусіаном для усунення шуму.

Виконується підкреслення перепадів яскравості за допомогою горизонтального та вертикального оптимальних фільтрів, розглянутих вище. Отримуються контрастовані зображення $R_1(x, y)$ та $R_2(x, y)$.

Виконується локальний аналіз отриманих зображень.

В кожній точці обраховується значення модуля градієнту яскравості:

$$R(x, y) = \sqrt{R_1(x, y)^2 + R_2(x, y)^2},$$
(5)

та його напрям

$$\alpha(x, y) = \frac{R_2(x, y)}{R_1(x, y)}.$$
(6)

Знаходяться локальні максимуми градієнта. Максимумом вважається піксель, який за модулем більше двох своїх сусідів за напрямом градієнта. В залежності від моделі зв'язності (чотирьох- чи восьмизв'язна), піксель може мати дві чи чотири пари сусідів. Якщо точка не є локальним максимумом, їй присвоюється нульове значення.

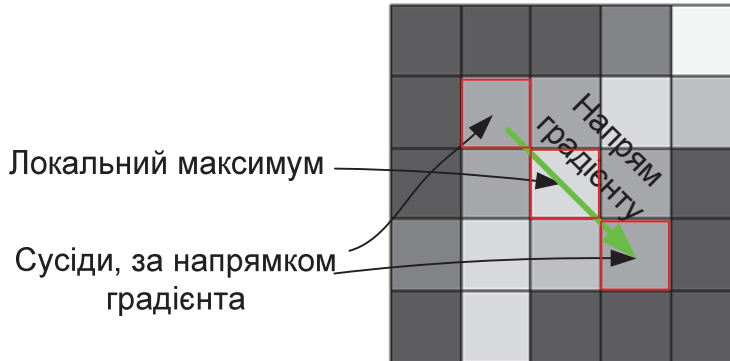


Рисунок 1 – Приклад визначення локального максимуму

Виконується гістерезисна порогова обробка. Значення яскравості пікселів порівнюються з двома порогами T_1 та T_2 , $T_2 > T_1$. Якщо значення яскравості більше за вищий поріг, піксель записується в масив «сильних контурів», якщо більше за нижній – в масив слабких контурів.

Кінцевий контурний препарат отримується в результаті зв'язування «сильних» контурів зі своїми «слабкими» сусідами [3].

Нелінійний метод контрастування зображень на основі вейвлет-перетворення

Оскільки метод Канні побудований на використанні диференційного контрастування, йому притаманні недоліки усіх диференційних методів. Стійкість до шуму метода Канні залежить від співвідношення довжини вікна згладжуючого фільтру і величини порогу. Тому доцільним є застосування нелінійних методів контрастування. Одним з таких методів є мультимасштабний аналіз, заснований на дослідженні коефіцієнтів стаціонарного вейвлет-перетворення.

Вейвлетом називається функція з нульовим середнім значенням:

$$\hat{\psi}(0) = \int_{-\infty}^{+\infty} \psi(t) dt = 0, \quad (7)$$

параметром розтягу s і параметром зсуву b

$$\psi_{b,s}(t) = \frac{1}{\sqrt{s}} \psi\left(\frac{t-b}{s}\right), s > 0. \quad (8)$$

Змінна s також називається масштабом, $\hat{\psi}$ – Фур'є-образ просторової функції $\psi(t)$.

Тоді неперервне вейвлет-перетворення функції $f(t) \in L^2$ визначається як

$$W_{\psi} f(b,s) = \int_{-\infty}^{\infty} f(t) \psi_{b,s}(t) dt. \quad (9)$$

Існує і зворотне перетворення, що визначається двомірним інтегралом по змінним масштабу і зсуву:

$$f(t) = \frac{1}{C_{\psi}} \int_{-\infty}^{\infty} db \int_{-\infty}^{\infty} \frac{1}{s^2} W_{\psi} f(b,s) \psi_{b,s}(t) ds, \quad (10)$$

де C_{ψ} – константа, яка визначається як

$$C_\psi = \int_{-\infty}^{\infty} \frac{\hat{\psi}(\omega)}{|\omega|} d\omega < \infty. \quad (11)$$

Остання умова обмежує клас функцій, що можуть бути вейвлетами.

Часто $\psi(t)$ можна отримати як похідну від згладжуючої функції (яка, по суті, є низькочастотним фільтром),

$$\phi(t) \in L^2(R), \int_{-\infty}^{\infty} \phi(t) dt = 1, \quad (12)$$

$$\psi(t) = \frac{\partial \phi}{\partial t} \quad (13)$$

Функцію $\phi(t)$ називають масштабуючою.

Тоді, враховуючи (9) і (13), та перейшовши до функції від двох змінних, вейвлет-перетворення можна представити у вигляді:

$$\begin{aligned} W^x f(ns, x, y) &= \psi_{ns} * f(x, y) \\ &= \frac{\partial \phi_{ns}}{\partial x} * f(x, y) \\ &= \frac{\partial (\phi_{(n-1)s} * \phi_s)}{\partial x} * f(x, y) \\ &= \frac{\partial (\phi_{(n-1)s} * f)}{\partial x} * \phi_s(x, y) \\ &= W^x f((n-1)s, x, y) * \phi_s(x, y) \end{aligned} \quad (14)$$

Так, для будь-якого $n > 1$:

$$W^x f(ns, s, y) = \underbrace{\phi_s * \dots * \phi_s}_{n-1} * W^x f(s, x, y). \quad (15)$$

Відповідно:

$$W^y f(ns, s, y) = \underbrace{\phi_s * \dots * \phi_s}_{n-1} * W^y f(s, x, y) \quad (16)$$

З виразів (15), (16) слідує, що вейвлет-перетворення являється рекурсивною процедурою, для якої коефіцієнти наступного масштабу отримуються у результаті операції згортки коефіцієнтів поточного масштабу з масштабуючою функцією. Коефіцієнти масштабу $s = 1$ знаходяться як згортка базового вейвлета з початковим сигналом [4].

Вперше мультимасштабний підхід до виділення контурів за допомогою вейвлет-перетворення запропонував Малла [5]. Він полягає у дослідженні сигналу за допомогою коефіцієнтів вейвлет-перетворення на різних масштабах. По суті, кожному масштабу відповідає обробка зображення фільтром певного розміру. Коефіцієнти вищих масштабів нечутливі до шуму, проте не дають точної локалізації контуру, в той час, як коефіцієнти нижчих масштабів точно визначають положення контуру, проте не можуть розрізнити справжні контури та шум (рисунок 2). Мультимасштабний підхід враховує коефіцієнти на різних масштабах вейвлет-перетворення, що посилює найбільш важливі перепади яскравості і підвищує стійкість до шуму.

На сьогоднішній день існує багато методів, побудованих на основі мультимасштабного підходу [2, 4, 7-12]. Головною відмінністю між ними є застосування різних базисних вейвлетів (вейвлетів Хара, гіперболічне, репагулярне вейвлет-перетворення) та особливості реалізації.

Відомо, що дискретне вейвлет-перетворення не інваріантне до зсуву $f(x)$ по x , тому для оцінки коефіцієнтів вейвлет-перетворення використовується стаціонарне вейвлет-перетворення, що інваріантне до зсуву. Вибір стаціонарного вейвлет-перетворення зумовлений тим, що воно на кожному кроці містить

стільки ж відліків, скільки і вихідне зображення [2]. Наслідком цього являється надлишковість отриманих коефіцієнтів, а отже і зростання кількості обчислень, оскільки при переході на наступний масштаб виконується операція, що зменшує кількість інформації про частоту, яку несуть коефіцієнти перетворення.

Малла показав [5], що вейвлетом з хорошими характеристиками є похідна від гаусіана. Вище зазначено, що такий фільтр є оптимальним, тому виберемо саме його в якості базисної вейвлет-функції.

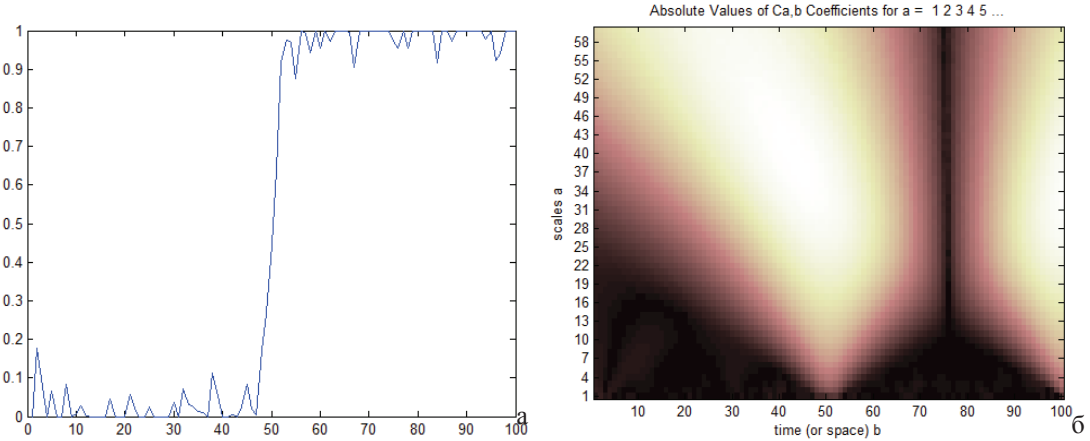


Рисунок 2 – Зображення сигналу (а) та його вейвлет-перетворення (б)

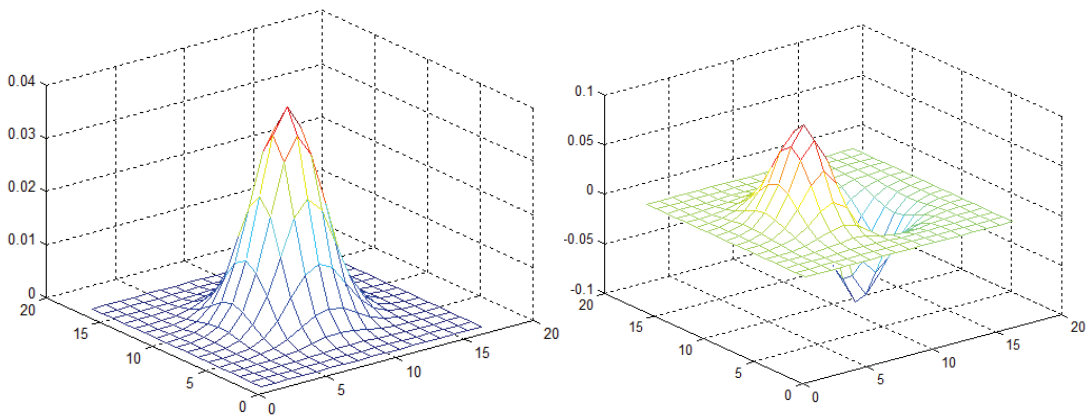


Рисунок 3 – Гаусіан та його перша похідна

Стационарне вейвлет-перетворення переважно реалізується у вигляді згортки з одновимірними фільтрами (вейвлетним та масштабуючим) стрічок та стовбців зображення. Основною перевагою такого підходу є швидкість роботи та стійкість зворотного перетворення. Проте в задачах виділення контурів більш важливим критерієм є надійна робота в умовах шуму, тому в якості вейвлетного та масштабуючого фільтрів пропонується використовувати двомірні апроксимації гаусіана та його першої похідної.

Запропонований метод виділення контуру полягає у модифікації методу Канні за рахунок використання нелінійного контрастування зображення за допомогою вейвлет-перетворення.

На першому кроці зображення згортається з вейвлетом (похідною від гаусіана) для отримання коефіцієнтів початкового масштабу. Для переходу на наступний масштаб зображення згортається з масштабуючою функцією (гаусіаном). Гаусіан та його похідна апроксимовані за допомогою масок, зображених на рисунку 4.

1	2	1
2	4	2
1	2	1

1	0	1
2	0	-2
1	0	-1

Рисунок 4 – Апроксимації гаусіана та його першої похідної

Оцінка ефективності виділення контуру, тестування детектора і аналіз результатів

Звичайно для оцінки стійкості до шуму детектору контуру використовується критерій Претта. Він враховує три основні типи помилок, які мають місце при виділенні контуру: пропуск справжніх перепадів, помилку у визначенні положення перепаду, хибне виділення шумових точок.

$$R = \frac{1}{\max(I_I, I_A)} \sum_{i=1}^{I_A} \frac{1}{1 + \alpha d_i^2}, \quad (17)$$

де I_I, I_A – число точок перепаду інтенсивності в контурних препаратах, отриманих за допомогою, відповідно ідеального і реального детектору;

α – масштабний коефіцієнт;

d_i – відстань між точкою дійсного перепаду і лінією з точок ідеального перепаду, що вимірюється по нормалі до цієї лінії.

Значення нормалізовано таким чином, що $R = 1$ для точно виділеного перепаду. Множник $1/I$ характеризує змазані і розбиті контури [33].

Реалізація запропонованого методу та його дослідження проводилось в математичному середовищі MATLAB R2010a з використанням пакету Image Processing Toolbox. Вихідне тестове зображення представляло собою вертикальний протяжний контур. В процесі дослідження на нього накладався білий нормальний шум за допомогою функції *imnoise*. Співвідношення «сигнал-шум» розраховувалось за формулою:

$$SNR = \frac{h^2}{\sigma^2}, \quad (18)$$

де h – висота перепаду, σ – середньоквадратичне відхилення шуму [6].

На рисунку 5 наведено графік залежності критерію Претта від масштабу.

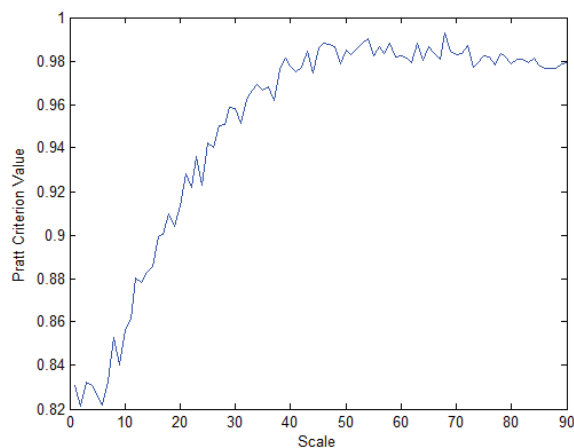


Рисунок 5 – Графік залежності критерію Претта від масштабу

Як видно з графіка, якість виділення контуру поступово зростає, досягнувши насичення в області $s = 40..50$, після чого дещо спадає. Це можна пояснити впливом розмазаних границь на високих масштабах (рисунок 2).

В якості еталону для порівняння використовувалась реалізація методу Канні, закладена у функцію *edge*. Розрахуємо кількість обчислень, необхідну для контрастування зображення в обох методах.

Метод Канні. Містить три головні обчислювальні процедури – згортку з згладжуючим фільтром, згортку з горизонтальним та вертикальним контурними детекторами. Нехай G_c – ширина фільтру. Тоді за одну згортку для кожного пікселя потрібно виконати G_c^2 операцій множення і G_c^2 операцій додавання. Тоді загальна кількість обчислень

$$O_c = 2 \cdot 3 \cdot N \cdot G_c^2 = 6NG_c^2,$$

де N – кількість пікселів.

Мультимасштабний метод. Включає початкову згортку з вейвлетними фільтрами та згортки отриманих вейвлетних коефіцієнтів з масштабуючою функцією для переходу на наступний масштаб

$$O_m = 4 \cdot N \cdot G_m^2 + S \cdot 4 \cdot G_m^2 N = 4 \cdot N \cdot G_m^2 (S + 1),$$

де S – найвищий масштаб, $G_m = 3$.

Як видно з графіка на рисунку 5, для тестового зображення мультимасштабний метод дає оптимальний результат при $s = 45$. Розрахуємо ширину фільтру G_c таку, щоб обидва методи вимагали однакової кількості обчислень:

$$O_c = O_m$$

$$6NG_c^2 = 4N \cdot 3^2 \cdot (45 + 1).$$

$$G_c = \sqrt{276} \approx 17$$

Оскільки на роботу детектора також впливає величина порогу, доцільно дослідити залежність якості виділення контуру від співвідношення «сигнал-шум» та значення порогу.

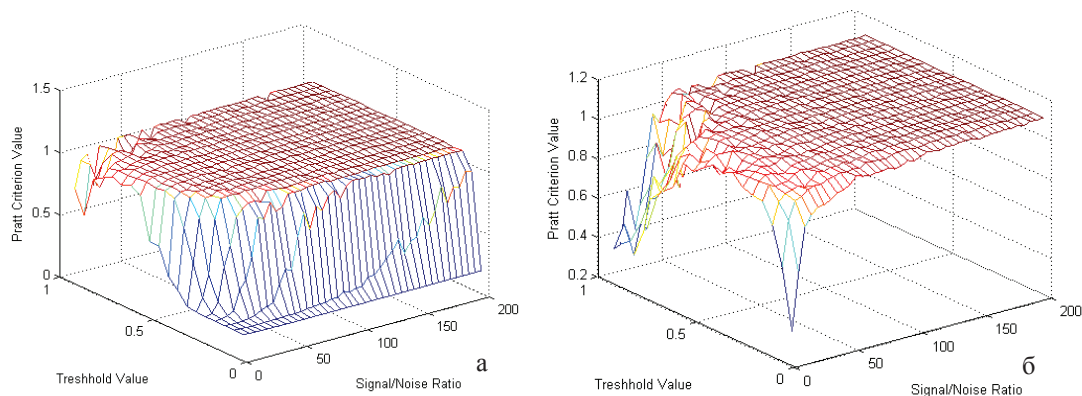


Рисунок 6 – Поверхні якості виділення контурів

методу Канні (а) та запропонованого мультимасштабного методу (б)

Графіки цих залежностей для методу Канні та запропонованого мультимасштабного методу наведені на рисунку 6. З них видно, що метод Канні є більш чутливим до величини порогу і гірше працює при низьких порогових значеннях. З іншого боку, запропонований метод дещо «звалюється» при високих значеннях порогу та низькому співвідношенні «сигнал-шум». Обидва методи добре працюють при середніх порогових значеннях $T = 0,6..0,8$.

Порівняльна характеристика методів представлена у вигляді графіка на рисунку 7, $T = 0,6$, $s = 45$. З нього можна помітити, що метод Канні демонструє більш стабільну роботу на всьому діапазоні співвідношення «сигнал-шум», в той час мультимасштабний метод забезпечує дещо вищі значення критерію Претта. В цілому, як показали результати тестування, запропонований метод демонструє непогані результати роботи в умовах шуму.

На рисунку 8 представлено результати виділення контурів реального зображення запропонованим методом. Помітно, що зі збільшенням глибини перетворення з зображення зникають дрібні деталі, в той час як суттєві особливості залишаються. Ця властивість притаманна всім методам на основі вейвлет-перетворення і належить до їх переваг. Проте така точка зору є багато в чому суб'єктивною, оскільки такий ефект можна отримати і за допомогою інших методів контрастування (наприклад, змінюючи ширину вікна згладжування у методі Канні). Оскільки єдиним критерієм, покладеним в основу контурних детекторів є висота перепаду яскравості, неможливо оцінити інформаційну цінність отриманого контурного препарату. Так, наприклад, у випадку текстурованого фону перепади яскравості

між елементами самої текстури можуть бути більші за перепади яскравості між об'єктом та фоном. В такому випадку «дрібними деталями» будуть саме контурні лінії об'єкту, що не відповідає дійсності. Тому розробка методів оцінки інформаційної цінності точок контурних препаратів, а також методи врахування цих оцінок при проектуванні контурних детекторів є актуальною задачею для подальших досліджень.

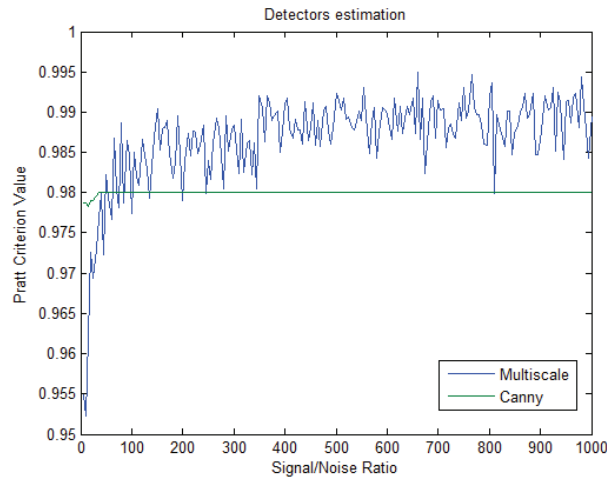


Рисунок 7 – Графіки залежності критерію Претта від співвідношення «сигнал-шум»

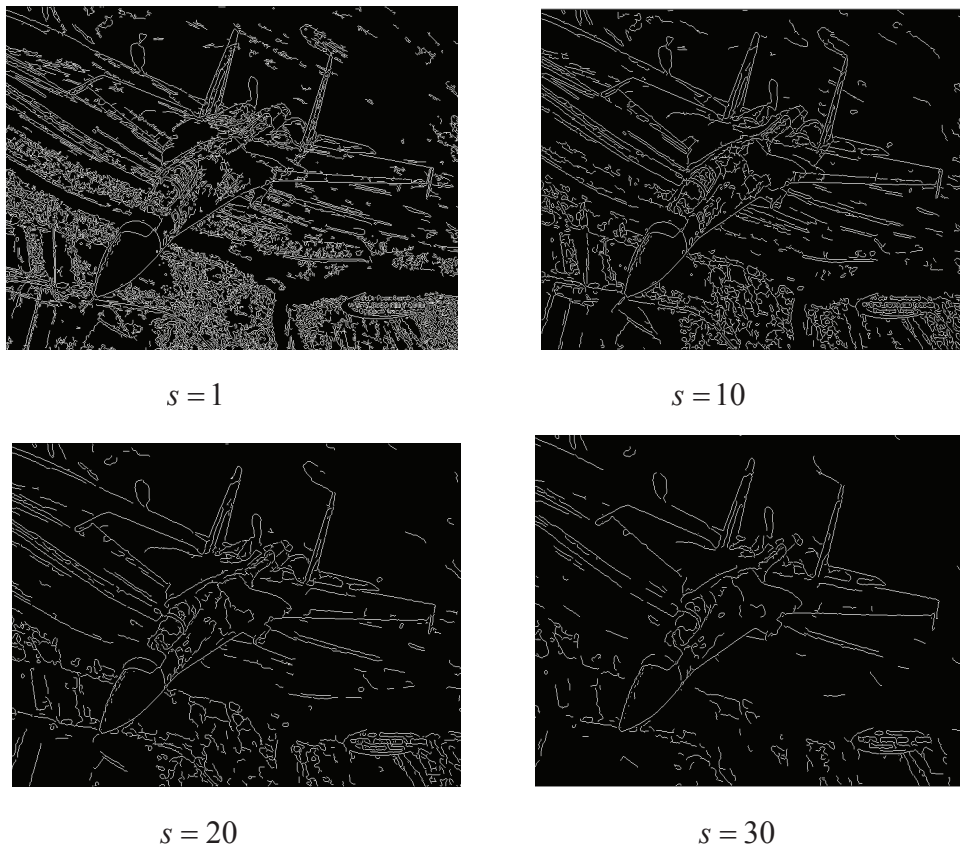


Рисунок 8 – Контурні препарати, отримані за допомогою розкладів різної глибини

Висновки

За результатами дослідження можна стверджувати, що використання вейвлет-перетворення та мультимасштабного аналізу є достатньо ефективним підходом для створення контурних детекторів, що надійно працюють в умовах шуму. Також показано, що виправданим є вибір гаусіану та його похідної в

якості масштабуючої та вейвлетних функцій, а також використання двовірних фільтрів для їх апроксимації.

Список використаної літератури

1. Фурман Я.А. Введение в контурный анализ / Я.А. Фурман – Красноярск: Изд-во Красн. Ун-та, 1992. – 249 с.
2. Полякова М.В. Контурная сегментация изображений с использованием вейвлет-анализа / М.В. Полякова, В.В. Любченко // Труды Одесского политехнического университета. – 2004. – № 1 (21). – С. 1-5.
3. Гонсалес Р. Цифровая обработка изображений / Р. Гонсалес, Р. Вудс. – М.: Техносфера, 2005. – 1072 с.
4. Jun Li. A Wavelet Approach to Edge Detection: a thesis to The Department of Mathematics and Statistics in partial fulfillment of the requirements for the degree of Master of Science in the subject of Mathematics / Jun Li. – Huntsville, Texas, 2003. – 80 с.
5. Mallat S. Singularity detection and processing with wavelets / Mallat S., Hwang W.L. // IEEE Transaction on Information Theory. – 1992. – P. 583 – 647.
6. Прэтт У. Цифровая обработка изображений / У. Прэтт. – М.: Мир, 1982. – 500 с.
7. Антошук С.Г. Иерархический подход при контурном анализе изображений / С.Г. Антошук, О.В. Бабилунга, А.А. Николенко, Е.В. Ткаченко // Штучний інтелект. – 2005. – № 3. – С. 603-609.
8. Клик Ю.А. Адаптивные базисные функции вейвлетного преобразования / Ю.А. Клик, С.Г. Антошук, А.А. Николенко // Труды Одесского политехнического университета. – 2004. – № 2 (22). – С. 1-5.
9. Полякова М.В. Морфологический метод контурной сегментации изображений на основе репагулярного вейвлет-преобразования / М.В. Полякова, В.Н. Крылов // Труды Одесского политехнического университета. – 2006. – № 1 (25). – С. 98-103.
10. Ivan Christov. Multiscale Image Edge Detection: a thesis to The Department of Mathematics Massachusetts Institute of Technology / Ivan Christov. – 2004. – 14 с.
11. Jianjia Pan. Edge Detection Combining Wavelet Transform and Canny Operator Based on Fusion Rules / Jianjia Pan // International Conference on Wavelet Analysis and Pattern Recognition, Baoding. – 2009. – С. 324-328.
12. Tony Lindeberg. Edge detection and ridge detection with automatic scale selection / Tony Lindeberg // Proceedings of the 1996 Conference on Computer Vision and Pattern Recognition, Washington, DC, USA. – 1996. – С. 465-470.

Відомості про авторів

Кветний Роман Наумович – д.т.н., професор, завідувач кафедри автоматичної та інформаційно-виміральної техніки, Вінницький національний технічний університет, 286021, м. Вінниця, Хмельницьке шосе, 95, корп. 5, каф. АІВТ, тел. (0432) 59-84-37, e-mail: rkvetny@sprava.net.

Бочков Євген Миколайович – магістрант, Вінницький національний технічний університет, 286021, м. Вінниця, Хмельницьке шосе, 95, корп. 5, каф. АІВТ, тел. (0432) 59-84-37, e-mail: ebochkov@gmail.com.

МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ТА ОБЧИСЛЮВАЛЬНІ МЕТОДИ

УДК 004.021:378.147.227:372.851

Т. В. КЛОЧКО, Н. Д. ПАРФЬОНОВА

Харківський національний університет імені В.Н. Каразіна, Харків

ПРО ВИКОРИСТАННЯ ПАКЕТУ MAPLE В КУРСІ «МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ» ДЛЯ СТУДЕНТІВ ФІЗИЧНИХ СПЕЦІАЛЬНОСТЕЙ

Анотація: В статті пропонується ідея викладання курсу «Математичного моделювання» на завданнях із паралельного курсу «Комплексний аналіз» студентам фізичних спеціальностей. Такий підхід дозволяє продемонструвати можливості математичного пакета й при цьому закріпити методи рішення завдань класичного математичного курсу, наочно дає побачити міжпредметні зв'язки, далеко не очевидні студентам.

Ключові слова: Maple.

Вступ

Впровадження сучасних технологій у процес навчання сприяє підвищенню рівня інформаційної культури студентів. Використання комп'ютерних технологій при вивченні нового матеріалу надалі приводить до кращого його засвоєння, наближає процес навчання до наукового пошуку. Незважаючи на те, що пакети комп'ютерної математики працюють за принципом «чорної скриньки»: на «вході» – вхідні дані, на «виході» – результат (при цьому хід розв'язання завдання користувачеві може бути невідомий), можна набути вміння використати ці пакети та опанувати аналітичні методи розв'язання одночасно. У цьому й складається мистецтво викладача, що підбирає конкретні завдання конкретним студентам. Правильний підбір задач дозволяє повторити вивчений метод і проаналізувати отриманий розв'язок.

Актуальність теми

В епоху інформаційного буму, коли інформація є все більш доступною, обсяг матеріалу, який треба донести викладачу, все збільшується, а час, необхідний для цього, збільшити неможливо. Для підвищення ефективності і якості навчання необхідно змінювати підходи, методи, прийоми навчання. Зрозуміло, що більше навантажити студентів неможливо, як неможливо і збільшувати кількість годин з одних предметів за рахунок зменшення з інших. Ця проблема гостро стоїть перед викладачами.

Міжпредметні зв'язки є однією з найважливіших дидактичних умов підвищення наукового рівня викладання навчальних дисциплін і ефективності навчального процесу в цілому.

Постановка проблеми

Тісний зв'язок наук природничо-математичного циклу є відображенням взаємозв'язків і взаємообумовленості у Всесвіті. Цей факт можна і потрібно використовувати як основу для міжпредметних зв'язків, використання яких має бути орієнтовано на розкриття творчого потенціалу, створення цілісної картини світу, з хаосу створити взаємопроникну систему інформації.

У зв'язку з цим треба переглянути програми таких предметів як «Інформатика», «Математичне моделювання» тощо. Потрібно не окремо створювати програми для цих предметів, а «вникнути» в зміст суміжних предметів, створити єдину систему програм, у якій би перекликались теми зі спеціальних предметів. Це вимагає немалих зусиль та часу викладача.

Розглянемо приклад вивчення пакета Maple у курсі «Математичного моделювання» на завданнях із паралельного курсу «Комплексний аналіз» [1, 2]. Такий підхід дозволяє продемонструвати можливості математичного пакета й при цьому закріпити методи розв'язання завдань класичного математичного курсу, наочно дає побачити міжпредметні зв'язки, далеко не очевидні студентам.

Мета публікації

У вищій школі міжпредметні зв'язки можна здійснювати таким чином: по-перше – при вивченні нового матеріалу звертатися до отриманих раніше знань з інших предметів; по-друге – розв'язувати задачі, які вимагають у студентів комплексного використання набутих знань з інших предметів; по-третє – виконувати експериментальні роботи, які вимагають гнучкої системи знань, відомостей з повсякденного життя.

Одним із макропросторів для використання міжпредметних зв'язків є розв'язання задач. В задачах найбільш чітко прослідковується застосування зв'язків між інформатикою, фізикою та математикою. Для студента, який не досить обізнаний з цих наук або не досить чітко розуміє їх взаємозв'язок, розв'язання навіть нескладних практичних задач може викликати великі труднощі.

Метою статті є розробка теми «Розв'язання диференціальних рівнянь і їх систем методами операційного числення» в курсі «Математичного моделювання», використовуючи пакет Maple, а також методичні рекомендації щодо цього.

Аналіз останніх досліджень і публікацій

Кількість публікацій, що стосуються опису та використанню пакету Maple в світі дуже велика, але прямих аналогів ми знайти не змогли. Бо в статті ми намагалися продемонструвати не лише можливості даного математичного пакету, для знайомства з ним існують досить гарні і дуже великі посібники, наприклад [3 – 7], а ті можливості, які дозволяють підвищити наочність учбового матеріалу та уникнути чернових трудомістких розрахунків.

Розв'язання диференціальних рівнянь і їх систем методами операційного числення

В Maple є багато можливостей вирішувати диференціальні рівняння та їх системи як аналітично, так і чисельно [3 – 7]. Для знаходження аналітичних рішень часто використовують команду `dsolve`.

У гарних випадках, а студентам тільки такі завжди й пропонують, буде отримане загальний розв'язок заданого рівняння або системи. У студентів може скластися враження, що вони витратили час марно, вивчаючи, як мінімум, семестровий курс диференціальних рівнянь. Але, навіть, у такій, здавалося б, безнадійній ситуації викладач може поставити завдання таким чином, щоб студентам довелося думати й згадувати вивчений матеріал.

Перше завдання дається з метою ознайомлення з можливостями Maple, та демонструє «розв'язання в один рядок».

Приклад 1. Вирішити задачу Коші:
$$\begin{cases} y'' - 3y' + 2y = e^t, \\ y(0) = 0, y'(0) = 0. \end{cases}$$

Вводимо умови задачі:

```
> odu:=diff(y(t),t$2)-3*diff(y(t),t)+2*y(t)=exp(t): odu;
> ic:=y(0)=0,D(y)(0)=0: ic;
```

$$\left(\frac{d^2}{dt^2}y(t)\right) - 3\left(\frac{d}{dt}y(t)\right) + 2y(t) = e^t$$

$$y(0) = 0, D(y)(0) = 0$$

1) Вирішимо це диференціальне рівняння, не вказуючи метод розв'язання.

```
> dsolve({odu,ic},y(t)): expand(%);
```

$$y(t) = -e^t t + (e^t)^2 - e^t$$

```
> assign(%%); simplify(odu);
```

$$e^t = e^t$$

Зауваження: студент повинен вивести умови завдання в «найкрасивішому» вигляді й зробити перевірку отриманого розв'язку.

Тепер трохи ускладнимо завдання, одночасно розширюючи знання про функцію `dsolve`:

2) Вирішимо дане диференціальне рівняння операційним методом.

Для цього потрібно лише додати ще один параметр `method=laplace` функції `dsolve`.

```
> dsolve({odu,ic},y(t),method=laplace): expand(%);
```

$$y(t) = -e^t t + (e^t)^2 - e^t$$

Як і слід було сподіватися, цей розв'язок співпадає з отриманим раніше.

Maple дозволяє побудувати графік розв'язку цього рівняння без його знаходження.

3) Не вирішуючи задачу Коші, побудуємо графік її розв'язку.

```
> with(DEtools): DEplot(odu,y(t),t=-2..2,y=-1..3,[[ic]]);
```

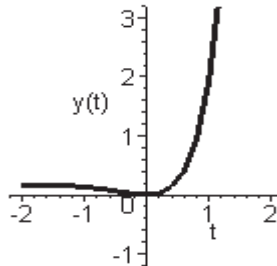


Рисунок 1 – Графік розв'язку диференційного рівняння

Далі трішки ускладнемо задачу.

4) Показати докладний хід розв'язання операційним методом.

```
> with(inttrans):
```

```
> odu:=diff(y(t),t$2)-3*diff(y(t),t)+2*y(t)=exp(t): odu;
> ic:=y(0)=0,D(y)(0)=0: ic; laplace(odu,t,p);
```

$$\left(\frac{d^2}{dt^2}y(t)\right)-3\left(\frac{d}{dt}y(t)\right)+2y(t)=e^t$$

$$y(0)=0, D(y)(0)=0$$

$$p^2 \text{laplace}(y(t),t,p)-3p \text{laplace}(y(t),t,p)+2 \text{laplace}(y(t),t,p)=\frac{1}{p-1}$$

Використовуючи функцію `laplace`, знаходимо зображення відразу всіх доданків, що входять у дане диференційне рівняння, хоча вигляд одержимо трохи незвичний. Виконаємо підстановку в останньому рівнянні, щоб одержати звичний вигляд рівняння в зображеннях.

```
> subs(laplace(y(t),t,p)=Y(p),%);
```

Вирішимо отримане лінійне рівняння відносно $Y(p)$.

```
> Y(p):=solve(% , Y(p));
```

$$p^2Y(p)-3pY(p)+2Y(p)=\frac{1}{p-1}$$

Розкладемо на множники знаменник отриманого дробу.

```
> Y(p):=factor(Y(p));
```

$$Y(p):=\frac{1}{p^3-4p^2+5p-2}$$

Далі розкладемо $Y(p)$ у суму простих дробів.

```
> Y(p):=convert(Y(p),parfrac,p);
```

$$Y(p):=\frac{1}{(p-2)(p-1)^2}$$

Роблячи зворотне перетворення Лапласа, одержимо остаточно відповідь:

```
> y:=t->invlaplace(Y(p),p,t): `y(t)`=y(t);
```

$$Y(p):=-\frac{1}{p-1}-\frac{1}{(p-1)^2}+\frac{1}{p-2}$$

Зауваження. Усе вище сказане працює не тільки для розв'язання лінійних диференційних рівнянь із постійними коефіцієнтами, а й зі змінними. Головною відмінністю буде те, що в зображеннях вийде не алгебраїчне лінійне рівняння, а лінійне диференційне рівняння щодо зображення шуканої функції. Аналогічно вирішуються й системи диференційних рівнянь.

Тепер завдання ще раз ускладнемо.

Приклад 2. Вирішити задачу Коші: $y'' + y = f(t)$, $y(0) = y'(0) = 0$, якщо функція $f(t)$ задана графічно:

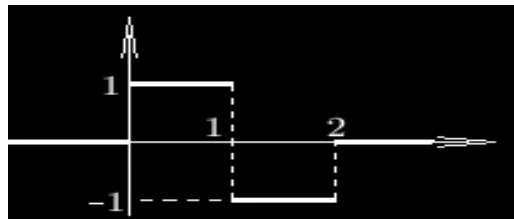


Рисунок 2 – Графік функції $f(t)$

За допомогою функції Хевісайда $\eta(t) = \begin{cases} 1, & t > 0 \\ 0, & t < 0 \end{cases}$, задану функцію можна записати у вигляді:

$$f(t) = \eta(t) - 2\eta(t-1) + \eta(t-2).$$

В Maple функцію Хевісайда позначають `Heaviside(t)`.

```
> with(inttrans): with(plottools):
```

```
> odu:=diff(y(t),t$2)+y(t)=f(t): odu; ic:=y(0)=0,D(y)(0)=0: ic;
```

```
> f:=t->Heaviside(t)-2*Heaviside(t-1)+Heaviside(t-2): `f(t)`=f(t);
```

$$\left(\frac{d^2}{dt^2} y(t) \right) + y(t) = f(t)$$

$$y(0) = 0, D(y)(0) = 0$$

$$f(t) = \text{Heaviside}(t) - 2\text{Heaviside}(t-1) + \text{Heaviside}(t-2)$$

Побудуємо функцію $f(t)$ й упевнимся, що аналітичний вираз для неї було написано правильно.

Хоча, звичайно, ніякий малюнок не є доказом!

```
> p1:=plot(f(t),t=-1..3,thickness=3,discont=true,color=black):
> p2:=line([1,-1],[1,1],color=grey,linestyle=3):
> p3:=line([2,-1],[2,0],color=grey,linestyle=3):
> plots[display](p1,p2,p3);
```

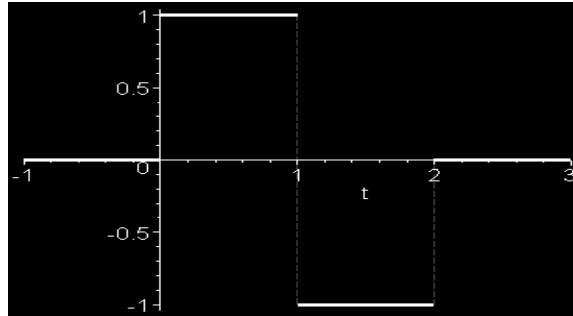


Рисунок 3 – Графік функції $f(t)$

Подальші дії подібні викладеним раніше.

```
> laplace(odu,t,p);
```

$$p^2 \text{laplace}(y(t),t,p) + \text{laplace}(y(t),t,p) = \frac{1 - 2e^{-p} + e^{-2p}}{p}$$

```
> subs(laplace(y(t),t,p)=Y(p),%);
```

$$p^2 Y(p) + Y(p) = \frac{1 - 2e^{-p} + e^{-2p}}{p}$$

```
> Y(p):=solve(% , Y(p)); y:=t->invlaplace(Y(p),p,t): `y(t)`=y(t);
```

$$Y(p) := \frac{1 - 2e^{-p} + e^{-2p}}{p(p^2 + 1)}$$

$$y(t) = 1 - \cos(t) - 4\text{Heaviside}(t-1)\sin\left(\frac{t}{2} - \frac{1}{2}\right)^2 + 2\text{Heaviside}(t-2)\sin\left(\frac{t}{2} - 1\right)^2$$

Показавши все це студентам у будь-якій доступній формі: або на лекції, або даючи «роздруків-ку» на практичному занятті, даємо кожному індивідуальні завдання, наприклад, такі.

1. Використовуючи методи операційного числення, вирішити задачу Коші для звичайного диференційного рівняння:

$$y'' + 4y' + 29y = e^{-2t}, y(0) = 0, y'(0) = 1.$$

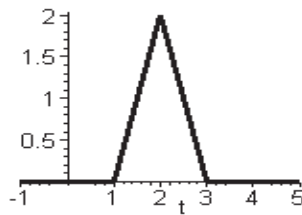
2. Використовуючи методи операційного числення, вирішити систему звичайних диференціальних рівнянь:

$$\begin{cases} x' = x + 3y + 2, \\ y' = x - y + 1. \end{cases}$$

3. Вирішити задачу Коші, де функція $f(t)$ задана графічно (рис.4):

$$y''(t) + 2y'(t) + y(t) = f(t), y(0) = 0, y'(0) = 0$$

Якщо в завданнях 1 та 2 студент виконав всі пункти, показані в прикладі 1, він одержує по 2 бали за кожне завдання (1 бал за перші 3 пункти та 1 бал за пункт 4). Завдання 3 оцінюється в 1 бал. Усього $2 \times 2 + 1 = 5$. Так, до кінця заняття кожен студент зможе себе оцінити самотійно.

Рисунок 4 – Графік функції $f(t)$

Висновки

В статті наведено опис теми «Розв'язання дифференційних рівнянь і їх систем методами операційного числення», яка вивчається студентами фізичних спеціальностей, зазвичай, у курсі «Теорія функцій комплексної змінної» («Комплексний аналіз») [1, 2] або «Математична фізика». Показані доцільність та переваги використання задач із суміжних спеціальних класичних курсів при викладанні пакета Maple в курсі «Математичне моделювання». В результаті такого підходу отримано підвищення зацікавленості студентів та якості їх знань.

Досвід викладання даної теми показує, що використання міжпредметних зв'язків на заняттях з курсу «Математичне моделювання» дозволяє розширити можливості сприйняття студентів, підвищити наочність учбового матеріалу, а також сприяє активізації пізнавальної діяльності студентів та формуванню їх професійного світогляду.

Список використаної літератури

1. Чудесенко В.Ф. Сборник заданий по специальным курсам высшей математики (типовые расчеты): Учеб. пособие для вузов. / В.Ф. Чудесенко.— М.: Высш. школа, 1983.— 112 с.
2. Парфёнова Н.Д. Комплексный анализ / Н.Д. Парфёнова.— ХНУ имени В.Н. Каразина, 2009.— 86 с.
3. Дьяконов В.П. Maple 9 в математике, физике и образовании / В.П. Дьяконов.— М.: СОЛОН-Пресс, 2004.— 688 с.
4. Матросов А.В. Maple 6 Решение задач высшей математики и механики / А.В. Матросов.— БХВ-Санкт-Петербург, 2001.— 528 с.
5. Сдвижков О.А. Математика на компьютере: Maple 8 / О.А. Сдвижков.— М.: СОЛОН-Пресс, 2003.— 176 с.
6. Mathews J., Howell R. Complex Analysis for Mathematics and Engineering / J. Mathews, R. Howell — Jones and Bartlett Publishers, 2007.— 484 p.
7. Garvan F. The Maple Book / F. Garvan.— Chapman & Hall/Crc, 2002.— 463 p.

Відомості про авторів

Парфьонова Наталія Дмитрівна – к. ф.-м. н., доцент кафедри вищої математики фізичного факультету Харківського національного університету імені В.Н. Каразіна, майдан Свободи, 4, м. Харків, 61077, тел. – 707 53 27; e-mail: parfyonova@univer.kharkov.ua

Клочко Тамара Володимирівна – старший викладач кафедри вищої математики фізичного факультету, майдан Свободи, 4, Харків, 61077, тел. – 707 53 27; e-mail: klochko@univer.kharkov.ua

ІНФОРМАЦІЙНІ ТЕХНОЛОГІЇ

УДК 519.711

Б. І. МОКІН, А. В. ПИСКЛЯРОВА, Ю. В. МОКІНА

Вінницький національний технічний університет, Вінниця

ДОСЛІДЖЕННЯ НА ФАЗОВІЙ ПЛОЩИНІ ПРОЦЕСУ ЗАСВОЄННЯ ПРОГРАМИ
НАВЧАЛЬНОЇ ДИСЦИПЛІНИ СТУДЕНТОМ СЕРЕДНІХ ЗДІБНОСТЕЙ

Анотація: За допомогою математичних моделей, синтезованих на фазовій площині, здійснено дослідження процесу засвоєння програми навчальної дисципліни студентом середніх здібностей.

Побудовані фазові траєкторії процесу засвоєння студентом середніх здібностей програми навчальної дисципліни за допомогою викладача та самостійно.

Ключові слова: Фазова площина, засвоєння навчальної дисципліни.

Станом на сьогодні різними дослідниками запропоновано чимало програмних засобів для комп'ютеризованих систем аналізу і управління університетом. Основним недоліком таких програмних засобів є те, що вони ігнорують як наявність взаємовпливу змінних стану, так і існування внутрішніх явних та неявних зворотних зв'язків між ними. А комп'ютеризовані системи, які розроблені на базі цих математичних моделей, не можуть бути ефективними засобами для прийняття оптимальних управлінських рішень в університеті навіть в дорадчому режимі.

Будь-який університет являє собою багатозв'язну, багатоконтурну, динамічну нелінійну систему з багатьма входами, з дискретно-неперервним, стохастичним характером внутрішніх процесів і наявністю обмежень на змінні стану та явних і прихованих внутрішніх зворотних зв'язків між ними. Взаємодії викладачів і студентів університету під час навчального процесу присвячено багато наукових публікацій, але в основному педагогічного характеру і по окремим параметрам.

Метою наших досліджень є забезпечення оптимальності прийняття управлінських рішень в університеті за рахунок підвищення адекватності математичних моделей навчального процесу. Ця робота є продовженням дослідження процесу засвоєння студентом навчальної дисципліни на фазовій площині в околі знайдених особливих точок [1–2], студентом, не наділим потужними логікою і пам'яттю, якого будемо називати студентом середніх здібностей або середнім студентом.

Постановка задачі і вихідні передумови

В роботі [1] нами синтезовані математичні моделі процесу засвоєння студентом програми навчальної дисципліни на фазовій площині у вигляді

$$\begin{aligned}\frac{dx_1}{dt} &= -\alpha_{11}x_1 + \alpha_{12}x_2x_1, \\ \frac{dx_2}{dt} &= -\alpha_{22}x_2 + \alpha_{21}x_1x_2\end{aligned}\quad (1)$$

для i -го часового напівінтервалу $[t^{(i)})$, протягом якого студент цю навчальну дисципліну не вивчає, у вигляді

$$\begin{aligned}\frac{dx_1}{dt} &= -\alpha_{11}x_1 + \alpha_{12}x_2x_1 + \beta_{11}x_1, \\ \frac{dx_2}{dt} &= -\alpha_{22}x_2 + \alpha_{21}x_1x_2\end{aligned}\quad (2)$$

для j -го часового напівінтервалу $[t_1^{(j)})$, протягом якого студент набуває додаткових знань, спілкуючись в аудиторії з викладачем, та у вигляді

$$\begin{aligned}\frac{dx_1}{dt} &= -\alpha_{11}x_1 + \alpha_{12}x_2x_1, \\ \frac{dx_2}{dt} &= -\alpha_{22}x_2 + \alpha_{21}x_1x_2 + \beta_{22}x_2\end{aligned}\quad (3)$$

для k -го часового напівінтервалу $[t_2^{(k)})$, протягом якого студент набуває додаткових знань, працюючи самостійно.

В математичних моделях (1), (2), (3) α_{11}, α_{22} - коефіцієнти, що характеризують ступінь забування студентом матеріалу навчальної дисципліни, вивченого раніше відповідно з викладачем і самостійно,

α_{12}, α_{21} - коефіцієнти, що характеризують синергетичний вплив одна на одну складових процесу засвоєння студентом навчального матеріалу з викладачем та самостійно, β_{11}, β_{22} - коефіцієнти, що характеризують ступінь засвоєння нових знань відповідно на заняттях з викладачем та самостійно, а x_1, x_2 - фазові координати, що задають у відносних одиницях ступінь засвоєння студентом програми навчальної дисципліни відповідно на заняттях з викладачем та самостійно, для яких виконуються умови:

$$x_1 = \frac{X_1}{X}, x_2 = \frac{X_2}{X}, \quad (4)$$

$$\begin{aligned} x_1 &\leq 1, \\ x_2 &\leq 1, \end{aligned} \quad (5)$$

$$x_1 + x_2 \leq 1$$

- де X – це та кількість знань, яку може мати студент, засвоївши протягом визначеного терміну часу T усі розділи програми певної навчальної дисципліни, X_1 - це така кількість знань з даної навчальної дисципліни, яку студент отримує від викладача під час аудиторних занять, а X_2 - це та кількість знань з даної дисципліни, яку студент засвоює, самостійно вивчаючи певні розділи програми.

У цій же роботі [1], допускаючи, що напівінтервали $[t^{(i)}], [t_1^{(j)}], [t_2^{(k)}]$ слідує один за одним, і позначаючи кінцеві точки цих напівінтервалів символами $t_k^{(i)}, t_{1k}^{(j)}, t_{2k}^{(k)}$, визначені початкові умови, необхідні для однозначного розв'язання систем диференціальних рівнянь (1), (2), (3), у вигляді: для системи рівнянь (1) -

$$\begin{aligned} x_{1n}^{(i)} &= x_1(t_{2k}^{(k-1)}), \\ x_{2n}^{(i)} &= x_2(t_{2k}^{(k-1)}), \end{aligned} \quad (6)$$

для системи рівнянь (2) –

$$\begin{aligned} x_{1n}^{(j)} &= x_1(t_k^{(i)}), \\ x_{2n}^{(j)} &= x_2(t_k^{(i)}), \end{aligned} \quad (7)$$

для системи рівнянь (3) –

$$\begin{aligned} x_{1n}^{(k)} &= x_1(t_{1k}^{(j)}), \\ x_{2n}^{(k)} &= x_2(t_{1k}^{(j)}), \end{aligned} \quad (8)$$

В роботі [2] розпочато дослідження процесу засвоєння студентом програми навчальної дисципліни на фазовій площині з використанням синтезованих математичних моделей на заданих напівінтервалах $[t^{(i)}], [t_1^{(j)}], [t_2^{(k)}]$ і визначені особливі точки $O_l(x_1, x_2), l = 1, 2$ фазової площини.

Показано, що усі три математичні моделі мають одну спільну особливу точку $O_1(0,0)$ та, що кожна модель має ще одну особливу точку $O_2(x_1, x_2)$, причому для моделі (1) – це точка

$$O_2\left(\frac{\alpha_{22}}{\alpha_{21}}, \frac{\alpha_{11}}{\alpha_{12}}\right), \text{ для моделі (2) – це точка } O_2\left(\frac{\alpha_{22}}{\alpha_{21}}, \frac{\alpha_{11} - \beta_{11}}{\alpha_{12}}\right), \text{ а для моделі (3) – це точка}$$

$$O_2\left(\frac{\alpha_{22} - \beta_{22}}{\alpha_{21}}, \frac{\alpha_{11}}{\alpha_{12}}\right), \text{ можливі місця розташування яких на фазовій площині показані на рис. 1. У цій же}$$

роботі [2] з'ясовано, що, якщо мова йде про студента, не наділеного потужними логікою і пам'яттю, то лише його особлива точка $O_1(0,0)$ розташована у заштрихованій області на рис. 1, оскільки для цього випадку справедливими є умови

$$\alpha_{11} > \alpha_{12}, \alpha_{22} > \alpha_{21} \quad (9)$$

З'ясовано також і те, що, коли мова йде про студента, наділеного потужними логікою і пам'яттю, то в заштрихованій області фазової площини, яка є допустимою за умовами нашої задачі, може

знаходиться не лише особлива точка $O_1(0,0)$, але і особлива точка $O_2(x_1, x_2)$, оскільки для цього випадку справедливими є умови

$$\alpha_{11} < \alpha_{12}, \alpha_{22} < \alpha_{21} \tag{10}$$

В даній роботі ми продовжимо дослідження процесу засвоєння студентом навчальної дисципліни на фазовій площині з використанням моделей (1), (2), (3) в околі знайдених особливих точок та побудуємо фазові траєкторії цього процесу. І почнемо ми це продовження з дослідження процесу засвоєння навчальної дисципліни студентом, не наділеним потужними логікою і пам'яттю, якого будемо називати студентом середніх здібностей або середнім студентом.

Визначення характеристик особливих точок моделей студента середніх здібностей та побудова фазових траєкторій в їх околі

Оскільки на кожному з напівінтервалів $[t^{(i)}], [t_1^{(j)}], [t_2^{(k)}]$ процес засвоєння студентом середніх здібностей навчальної дисципліни описується різними моделями із множини (1), (2), (3), то і характер траєкторій на фазовій площині і характеристики особливої точки $O_1(0,0)$, яка для цього класу студентів буде єдиною в допустимій області фазової площини, теж відрізнятимуться.

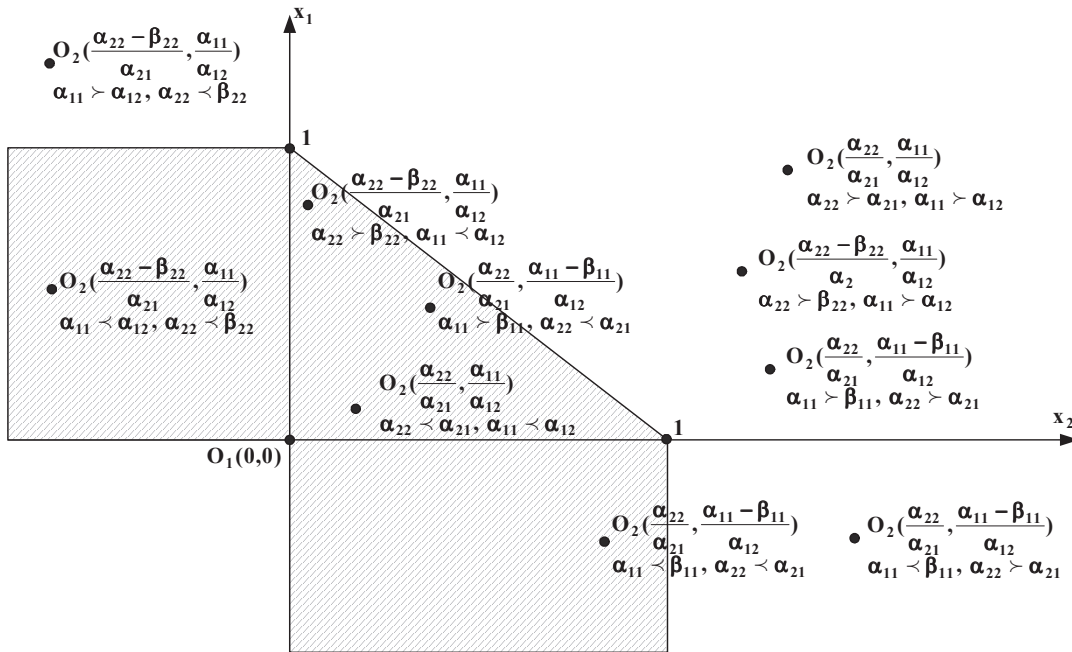


Рисунок 1 – Область розташування особливих точок на фазовій площині в задачі дослідження процесу засвоєння студентом навчальної дисципліни

А тому потрібно процес засвоєння студентом середніх здібностей навчальної дисципліни на кожному із наведених напівінтервалів розглядати окремо.

Почнемо з напівінтервалу $[t^{(i)}]$, для якого справедливою є математична модель (1).

Як відомо [3], для визначення характеристик особливої точки і характеру фазових траєкторій в її околі замість нелінійної математичної моделі достатньо розглянути лінеаризовану модель, яка для моделі (1) матиме вигляд

$$\begin{aligned} \frac{dx_1}{dt} &= -\alpha_{11}x_1, \\ \frac{dx_2}{dt} &= -\alpha_{22}x_2 \end{aligned} \tag{11}$$

Матрицею коефіцієнтів математичної моделі (11) буде матриця

$$A = \begin{bmatrix} -\alpha_{11} & 0 \\ 0 & -\alpha_{22} \end{bmatrix}, \quad (12)$$

а характеристичне рівняння матиме вигляд

$$\begin{vmatrix} -\alpha_{11} - \lambda & 0 \\ 0 & -\alpha_{22} - \lambda \end{vmatrix} = 0, \quad (13)$$

або

$$(-\alpha_{11} - \lambda)(-\alpha_{22} - \lambda) = 0, \quad (14)$$

з коренями

$$\lambda_1 = -\alpha_{11}, \lambda_2 = -\alpha_{22} \quad (15)$$

Як відомо з теорії диференціальних рівнянь [3], при дійсних і від'ємних значеннях коренів (15) характеристичного рівняння (14) особлива точка $O_1(0,0)$ фазової площини (x_1, x_2) буде мати характеристики стійкого вузла, в якому закінчуватимуться фазові траєкторії. Визначимо характер цих траєкторій.

Спочатку визначимо, куди переміщатиметься точка на фазовій траєкторії з ростом часу.

Для цього диференціальні рівняння (11) перепишемо так:

$$\begin{aligned} \frac{dx_1}{x_1} &= -\alpha_{11} dt, \\ \frac{dx_2}{x_2} &= -\alpha_{22} dt \end{aligned} \quad (16)$$

Інтегруючи рівняння (16), матимемо:

$$\begin{aligned} \ln x_1 &= -\alpha_{11}t + \ln C_1, \\ \ln x_2 &= -\alpha_{22}t + \ln C_2, \end{aligned} \quad (17)$$

або

$$\begin{aligned} x_1 &= C_1 e^{-\alpha_{11}t}, \\ x_2 &= C_2 e^{-\alpha_{22}t}, \end{aligned} \quad (18)$$

де C_1, C_2 – сталі інтегрування, числове значення яких визначається за допомогою початкових умов (6).

Із виразів (18) видно, що з ростом часу t абсолютні значення фазових координат x_1, x_2 зменшуються. А це, у свою чергу, означає, що точка по фазовій траєкторії рухається з будь-якої початкової точки допустимої області фазової площини (x_1, x_2) в напрямку до особливої точки $O_1(0,0)$ (рис. 2).

Для з'ясування характеру фазових траєкторій в околі особливої точки $O_1(0,0)$ систему диференціальних рівнянь (16) діленням другого рівняння на перше приведемо до вигляду

$$\frac{dx_2}{dx_1} = \frac{\alpha_{22}x_2}{\alpha_{11}x_1}, \quad (19)$$

або

$$\frac{dx_2}{x_2} = \frac{\alpha_{22}dx_1}{\alpha_{11}x_1} \quad (20)$$

Інтегруючи рівняння (20), матимемо

$$\ln x_2 = \frac{\alpha_{22}}{\alpha_{11}} \ln x_1 + \ln C, \quad (21)$$

або

$$x_2 = C(x_1)^{\frac{\alpha_{22}}{\alpha_{11}}}, \quad (22)$$

де C – стала інтегрування, числове значення якої визначається з початкових умов (6).

Віссю симетрії кривої (22) буде пряма

$$x_2 = Cx_1, \quad (23)$$

яку отримаємо із рівняння (22) при

$$\alpha_{11} = \alpha_{22} \quad (24)$$

Цілком очевидно, що при

$$C > 0, \quad (25)$$

пряма (23) лежить у першому квадранті фазової площини, а при

$$C < 0 \quad (26)$$

- у другому та четвертому квадрантах (рис. 2).

Легко бачити, що при

$$\alpha_{11} < \alpha_{22}, \quad (27)$$

крива (22) лежатиме на фазовій площині під прямою (23), оскільки при показниках степені, більших одиниці, в області значень аргументу, менших одиниці, значення показникової функції будуть меншими значень аргументу, а при

$$\alpha_{11} > \alpha_{22}, \quad (28)$$

крива (22) лежатиме на фазовій площині над прямою (23), оскільки при показниках степені, менших одиниці, в області значень аргументу, менших одиниці, значення показникової функції будуть більшими значень аргументу.

Для прикладу, при

$$\alpha_{11} = 2\alpha_{22} \quad (29)$$

крива (22) є кривою кореня квадратного, а при

$$2\alpha_{11} = \alpha_{22} \quad (30)$$

крива (22) є параболою.

На рис. 2 наведені фазові траєкторії процесу засвоєння студентом середніх здібностей програми навчальної дисципліни, які узагальнюють усе вище сказане, на напівінтервалі $[t^{(i)})$, на якому студент не працює ні з викладачем, ні самостійно, для випадку, коли

$$C = 1 \quad (31)$$

На перший погляд може здатися дивним те, що на рис. 2 зображені фазові траєкторії і у 2-му та 4-му квадрантах фазової площини, в яких одна із фазових координат приймає від'ємні значення. Але у дійсності у цьому нічого дивного немає, адже це цілком відповідає ситуаціям, які можуть виникнути при вивченні тієї чи іншої навчальної дисципліни, оскільки і з Інтернету, і від викладача з поганою професійною підготовкою студент може черпати не лише правильну інформацію, тобто, інформацію зі знаком плюс, але і не правильну інформацію, тобто, інформацію зі знаком мінус, або дезінформацію.

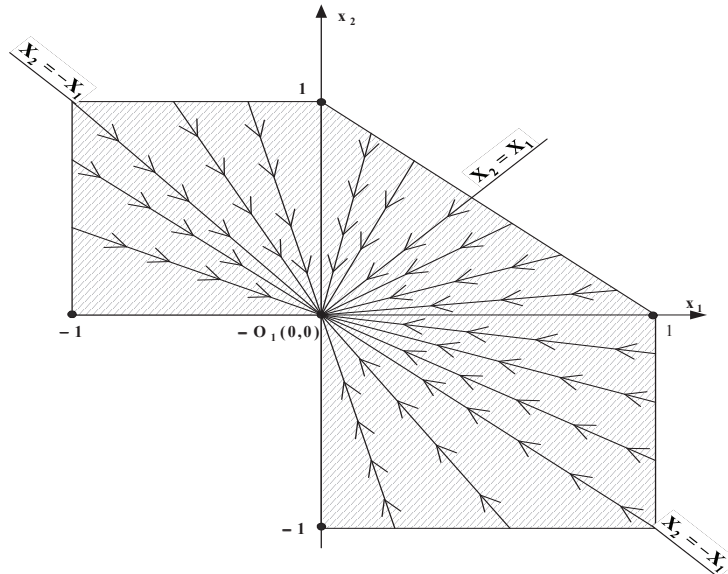


Рисунок 2 – Фазові траєкторії процесу засвоєння студентом середніх здібностей програми навчальної дисципліни на відрізок часу, протягом якого студент не працює ні з викладачем, ні самостійно

Тепер проробимо аналогічні викладки для напівінтервалу $[t_1^{(j)})$, протягом якого студент середніх здібностей набуває додаткових знань, спілкуючись в аудиторії з викладачем.

У цьому випадку математичною моделлю процесу засвоєння студентом програми навчальної дисципліни буде система диференціальних рівнянь (2), якій відповідатиме в околі особливої точки $O_1(0,0)$ лінеаризована модель

$$\begin{aligned} \frac{dx_1}{dt} &= (-\alpha_{11} + \beta_{11})x_1, \\ \frac{dx_2}{dt} &= -\alpha_{22}x_2, \end{aligned} \tag{32}$$

матриця коефіцієнтів якої матиме вигляд

$$A = \begin{bmatrix} -\alpha_{11} + \beta_{11} & 0 \\ 0 & -\alpha_{22} \end{bmatrix}, \tag{33}$$

а характеристичне рівняння –

$$\begin{vmatrix} -\alpha_{11} + \beta_{11} - \lambda & 0 \\ 0 & -\alpha_{22} - \lambda \end{vmatrix} = 0, \tag{34}$$

або

$$(-\alpha_{11} - \lambda)(-\alpha_{22} - \lambda) = 0, \tag{35}$$

з коренями

$$\lambda_1 = -\alpha_{11} + \beta_{11}, \lambda_2 = -\alpha_{22}. \tag{36}$$

Виконуючи дії за алгоритмом, описаним вище для попереднього напівінтервалу, знайдемо, що:

$$\begin{aligned} x_1 &= C_1 e^{-(\alpha_{11} - \beta_{11})t}, \\ x_2 &= C_2 e^{-\alpha_{22}t}, \end{aligned} \tag{37}$$

де C_1, C_2 – сталі інтегрування, числове значення яких визначається за допомогою початкових умов (7), а

$$x_2 = C(x_1)^{\frac{\alpha_{22}}{\alpha_{11} - \beta_{11}}} \quad (38)$$

Із виразів (36), (37), (38) видно, що в разі, коли викладач має менш потужні логіку, пам'ять і рівень знань, ніж студент, якого він навчає, тобто, коли

$$\beta_{11} < \alpha_{11}, \quad (39)$$

то особлива точка $O_1(0,0)$, як і у попередньому випадку, буде стійким вузлом, а фазові траєкторії процесу засвоєння студентом навчальної дисципліни у цьому випадку матимуть такий же характер, як і фазові траєкторії, приведені на рис. 2, з тією лише різницею, що вісь симетрії у них визначатиметься тією ж прямою (23), але визначеною за умови

$$\alpha_{11} - \beta_{11} = \alpha_{22} \quad (40)$$

Із цих же виразів (36), (37), (38) видно, що в разі, коли викладач має логіку, пам'ять і рівень знань рівноцінні логіці, пам'яті і рівню знань студента, якого він навчає, тобто, коли

$$\beta_{11} = \alpha_{11}, \quad (41)$$

то корінь λ_1 характеристичного рівняння (35) згідно з виразом (36) стає рівним нулю, особлива точка $O_1(0,0)$ «розпливається» вздовж осі x_1 , а фазові траєкторії процесу засвоєння студентом навчальної дисципліни набувають вигляд, показаний на рис. 3 а.

І, нарешті, із цих же виразів (36), (37), (38) видно, що в разі, коли викладач має логіку, пам'ять і рівень знань потужніші логіки, пам'яті і рівня знань студента, якого він навчає, тобто, коли

$$\beta_{11} > \alpha_{11}, \quad (42)$$

то корінь λ_1 характеристичного рівняння (35) згідно з виразом (36) стає більшим нуля, особлива точка $O_1(0,0)$ згідно з [3] характеризуватиметься як «сідло», а фазові траєкторії процесу засвоєння студентом навчальної дисципліни набувають вигляд, показаний на рис. 3 б.

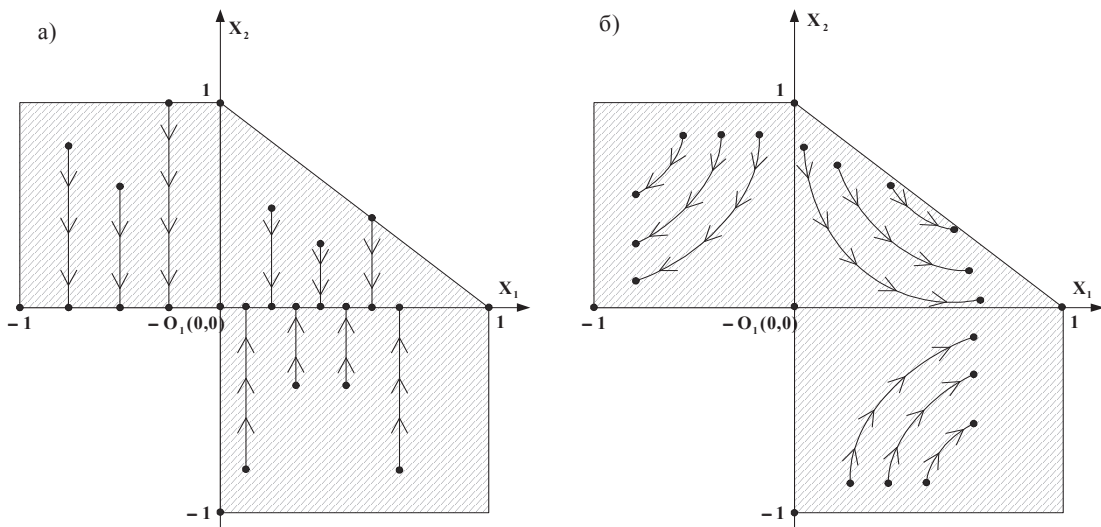


Рисунок 3 – Фазові траєкторії процесу засвоєння студентом середніх здібностей програми навчальної дисципліни на відрізок часу, протягом якого студент працює з викладачем, за умови, що викладач має логіку, пам'ять і рівень знань менш потужні, ніж логіка, пам'ять і рівень знань студента (а), та за умови, що логіка, пам'ять і рівень знань викладача є більш потужними, ніж логіка, пам'ять і рівень знань студента (б).

На завершення аналізу проробимо аналогічні викладки для напівінтервалу $[t_2^{(k)})$, протягом якого студент набуває додаткових знань, працюючи самостійно.

У цьому випадку математичною моделлю процесу засвоєння студентом програми навчальної дисципліни буде система диференціальних рівнянь (3), якій відповідатиме в околі особливої точки $O_1(0,0)$ лінеаризована модель

$$\begin{aligned}\frac{dx_1}{dt} &= -\alpha_{11}x_1, \\ \frac{dx_2}{dt} &= (-\alpha_{22} + \beta_{22})x_2,\end{aligned}\tag{43}$$

матриця коефіцієнтів якої матиме вигляд

$$A = \begin{bmatrix} -\alpha_{11} & \dots & 0 \\ \dots & 0 & -\alpha_{22} + \beta_{22} \end{bmatrix},\tag{44}$$

а характеристичне рівняння –

$$\begin{vmatrix} -\alpha_{11} - \lambda & \dots & 0 \\ \dots & 0 & -\alpha_{22} + \beta_{22} - \lambda \end{vmatrix} = 0,\tag{45}$$

або

$$(-\alpha_{11} - \lambda)(-\alpha_{22} + \beta_{22} - \lambda) = 0,\tag{46}$$

з коренями

$$\lambda_1 = -\alpha_{11}, \lambda_2 = -\alpha_{22} + \beta_{22}.\tag{47}$$

Виконуючи дії за алгоритмом, описаним вище для попередніх напівінтервалів, знайдемо, що:

$$\begin{aligned}x_1 &= C_1 e^{-\alpha_{11}t}, \\ x_2 &= C_2 e^{(-\alpha_{22} + \beta_{22})t},\end{aligned}\tag{48}$$

де C_1, C_2 – сталі інтегрування, числове значення яких визначається за допомогою початкових умов (8), а

$$x_2 = C(x_1)^{\frac{\alpha_{22} - \beta_{22}}{\alpha_{11}}}\tag{49}$$

Із виразів (47), (48), (49) видно, що в разі, коли засіб для самостійної роботи (навчальний посібник, підручник, публікація в Інтернеті) має менш потужні логіку і ступінь доступності викладення матеріалу, ніж потрібні студенту для їх осмислення, тобто, коли

$$\beta_{22} < \alpha_{22},\tag{50}$$

то особлива точка $O_1(0,0)$, як і у першому випадку, буде стійким вузлом, а фазові траєкторії процесу засвоєння студентом навчальної дисципліни у цьому випадку матимуть такий же характер, як і фазові траєкторії, приведені на рис. 2, з тією лише різницею, що вісь симетрії у них визначатиметься тією ж прямою (23), але визначеною за умови

$$\alpha_{22} - \beta_{22} = \alpha_{11}\tag{51}$$

Із цих же виразів (47), (48), (49) видно, що в разі, коли засіб для самостійної роботи (навчальний посібник, підручник, публікація в Інтернеті) має логіку і ступінь доступності викладення матеріалу рівноцінну логіці, пам'яті і рівню знань студента, який по цьому засобу самостійно навчається, тобто, коли

$$\beta_{22} = \alpha_{22},\tag{52}$$

то корінь λ_2 характеристичного рівняння (46) згідно з виразом (47) стає рівним нулю, особлива точка $O_1(0,0)$ «розпливається» вздовж осі x_2 , а фазові траєкторії процесу засвоєння студентом навчальної дисципліни набувають вигляд, показаний на рис. 4 а.

І, нарешті, із цих же виразів (47), (48), (49) видно, що в разі, коли засіб для самостійної роботи (навчальний посібник, підручник, публікація в Інтернеті) має логіку і ступінь доступності викладення матеріалу потужніші за логіку, пам'ять і рівень знань студента, який його вивчає, тобто, коли

$$\beta_{22} > \alpha_{22}, \quad (53)$$

то корінь λ_2 характеристичного рівняння (46) згідно з виразом (47) стає більшим нуля, особлива точка $O_1(0,0)$ згідно з [3] характеризуватиметься як «сідли», а фазові траєкторії процесу засвоєння студентом навчальної дисципліни набувають вигляд, показаний на рис. 4 б.

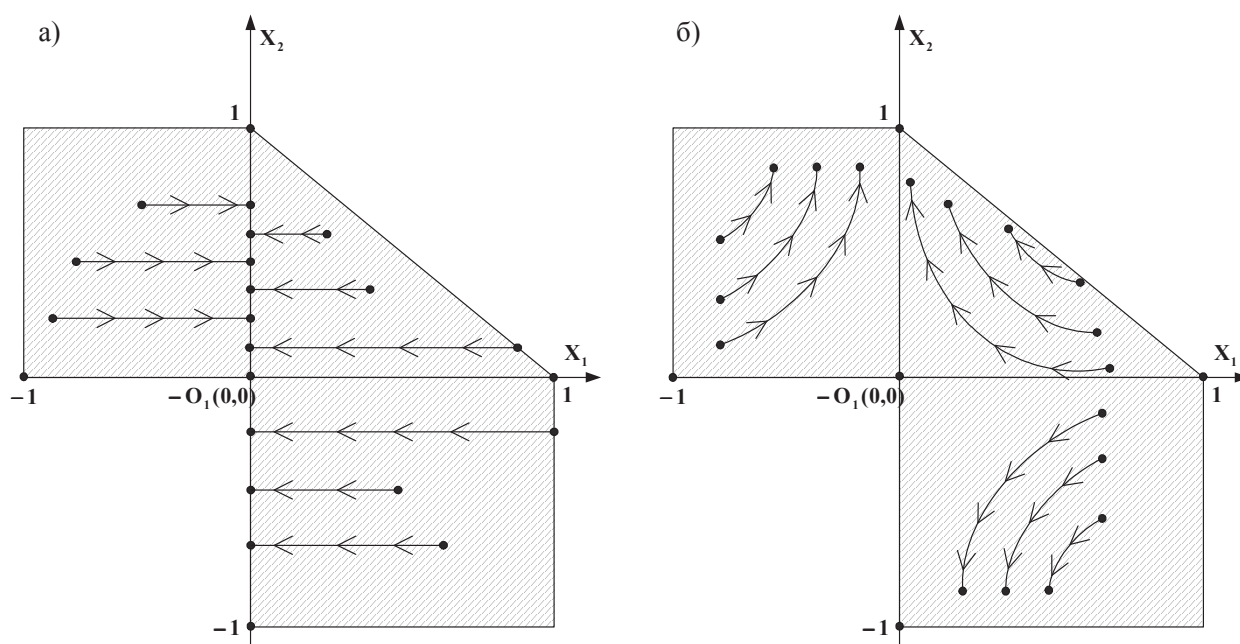


Рисунок 4 – Фазові траєкторії процесу засвоєння студентом середніх здібностей програми навчальної дисципліни на відрізку часу, протягом якого студент працює самостійно, за умови, що засіб самостійної роботи має логіку і ступінь доступності викладення матеріалу менш потужні, ніж логіка, пам'ять і рівень знань студента, який його вивчає (а), та за умови, що логіка і ступінь доступності викладення матеріалу в засобі самостійної роботи є більш потужними, ніж логіка, пам'ять і рівень знань студента, який його вивчає (б).

Висновки

1. Визначені області значень параметрів математичних моделей, що описують процес засвоєння студентом програми навчальної дисципліни, у разі, якщо студент має середні здібності щодо цього.
2. Визначені характеристики особливих точок на фазовій площині процесу засвоєння студентом середніх здібностей програми навчальної дисципліни на відрізках часу для випадків, коли він не вивчає цю дисципліну, вивчає її за допомогою викладача та вивчає самостійно за допомогою навчальних посібників і підручників або Інтернету, а також побудовані фазові траєкторії цього процесу в околі особливих точок на кожному із цих відрізків часу.
3. Підготовлена уся необхідна інформація, за допомогою якої можна побудувати на фазовій площині траєкторію процесу засвоєння програми навчальної дисципліни від першого знайомства з нею до складання іспиту на її знання.

Список використаної літератури

1. Мокін Б. І. Математичні моделі процесу засвоєння студентом навчальної дисципліни на фазовій площині / Б. І. Мокін, А. В. Пислярова, Ю. В. Мокіна // Вісник Вінницького політехнічного інституту. – 2010. – № 5. – С. 109–112.

2. Мокін Б. І. Дослідження характеру особливих точок на фазовій площині процесу засвоєння студентом програми навчальної дисципліни / Б. І. Мокін, А. В. Писклярова, Ю. В. Мокіна // Вісник Вінницького політехнічного інституту. – 2010. – № 6. – С. 108–113.
3. Самойленко А. М. Дифференциальные уравнения. Примеры и задачи / А. М. Самойленко, С. А. Кривошея, Н. А. Перестюк. – Киев: Высшая школа. – 1984. – 408 с.

Відомості про авторів

Мокін Борис Іванович – д.т.н., професор, академік НАПНУ, професор кафедри відновлювальної енергетики та транспортних електричних систем і комплексів;

Писклярова Анна Валеріївна – к.т.н., проректор з науково-педагогічної роботи по організації виховного процесу;

Мокіна Юлія Вікторівна – к.е.н., доцент кафедри менеджменту та моделювання в економіці.

ІНФОРМАЦІЙНІ ТЕХНОЛОГІЇ

УДК 681.3

В. А. ЛУЖЕЦЬКИЙ, А. В. КУЛЬЧИЦЬКИЙ, Т. М. АЛЕКСЄЄВА

Вінницький національний технічний університет, Вінниця

ДОСЛІДЖЕННЯ ЧИСЛОВИХ МОДЕЛЕЙ ДАНИХ

Анотація: Розглядаються числові моделі даних, що підлягають ущільненню, особливістю яких є те що будь-який тип даних розглядається як цілі додатні числа. Наводяться результати дослідження числових моделей, що відповідають файлам типу *.doc, *.exe, *.pdf, *.zip.

Ключові слова: Числові моделі даних.

Вступ

Кількість потрібної людині інформації неухильно зростає. Кількість пристроїв для зберігання даних і пропускна спроможність каналів зв'язку також зростають. Однак кількість інформації зростає швидше. У цієї проблеми є три рішення. Перше - обмеження кількості інформації. На жаль, воно не завжди прийнятно. Друге - збільшення кількості носіїв інформації та пропускної здатності каналів зв'язку. Це рішення пов'язане з матеріальними витратами, причому іноді досить значними. Третє рішення - використання ущільнення інформації. Це рішення дозволяє в кілька разів скоротити вимоги до кількості пристроїв зберігання даних і пропускної здатності каналів зв'язку без додаткових витрат (за винятком витрат на реалізацію алгоритмів стиснення) [1].

Саме завдяки необхідності використання ущільнення інформації методи ущільнення досить поширені. Однак існують дві серйозні проблеми. По-перше, широко застосовувані методи ущільнення, як правило, застаріли і не забезпечують достатнього зменшення надлишковості даних. У той же час вони вбудовані у велику кількість програмних продуктів і бібліотек і тому будуть використовуватися ще досить довгий час. Другою проблемою є часте застосування методів ущільнення, які не відповідають характеру даних. Вирішення цих проблем дозволяє різко підвищити ефективність застосування алгоритмів ущільнення. [2]

Тому виникає потреба у створенні універсальних (адаптивних) методів ущільнення. Адаптивні методи ущільнення (adaptive encoding) - методи ущільнення даних, які заздалегідь не налаштовуються на певний тип даних [3]. Вони налаштовуються на будь-який тип даних, домагаючись максимального скорочення їх обсягу.

Одним з найбільш важливих досягнень у теорії ущільнення даних за останні десятиліття є розділення процесу ущільнення на дві частини: кодування, що перетворює дані в ущільнений потік бітів, і моделювання, яке підготує інформацію до нього [4].

Для того щоб досягти великої адаптивності ущільнення, потрібно на етапі моделювання джерела даних проводити дослідження, які дали б змогу оцінювати утворену модель даних і вибрати оптимальний метод кодування цих даних.

Метою роботи є підвищення ефективності ущільнення даних за рахунок використання числових моделей та їх дослідження перед ущільненням даних.

Для досягнення поставленої мети необхідно розв'язати такі задачі:

- розробити числові моделі;
- дослідити числові моделі.

Числові моделі даних

Моделювання джерела даних - процес створення моделі джерела даних, за допомогою застосування правил і певної техніки моделювання.

В обчислювальній техніці всі дані представляються у вигляді послідовності символів 0 і 1. Тому, для спрощення роботи, при побудові числових моделей вхідні дані також розглядатимуться як послідовності символів 0 і 1.

При моделюванні використовується рівномірне розбиття на блоки, тобто вхідна послідовність символів розбивається на блоки, що містять однакову кількість символів (рис. 1).

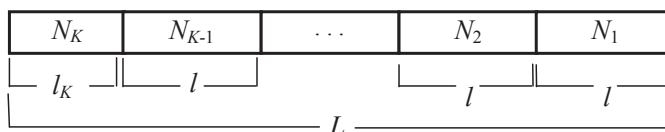


Рисунок 1 – Структура вхідних даних

Тут послідовність із L символів розбита на блоки по l символів. Кількість блоків дорівнює $K = \lceil L/l \rceil$, де $\lceil \cdot \rceil$ означає округлення до більшого цілого. Якщо L ділиться на l точно, то всі блоки будуть мати однакову довжину l . Коли результат ділення є нецілим числом, то один блок буде мати довжину $l_K = L - K \cdot l$.

$$M = \{a_0, a_1, \dots, a_{L-1}\},$$

де a_i - символ алфавіту $A = \{0,1\}$.

$$M = \{M_0^*, M_1^*, \dots, M_{K-1}^*\},$$

де $M_j^* = \{a_{j \cdot l + 0}, a_{j \cdot l + 1}, a_{j \cdot l + 2}, \dots, a_{j \cdot l + l}\}$.

Далі кожному i -му блоку ($i=1;2;\dots;K$) ставиться у відповідність число N_i .

$$N_i = f(M_i^*).$$

Функція $f()$ може бути описана формулою:

$$N_i = \sum_{j=0}^{l-1} a_{ij} w_j \quad (1),$$

де a_{ij} - j -й символ i -го блоку;

w_j - числовий еквівалент j -ї позиції (розряду) коду.

Використавши функцію $f()$ для кожного блоку M_i^* ($i = 0,1, \dots, K$), буде отримано послідовність з K чисел, що є числовою моделлю вхідних даних.

Із формули (1) випливають три основні підходи до побудови числових моделей, що адаптуються. Ці підходи базуються на:

- 1) варіюванні довжини блоків;
- 2) використанні системи числових еквівалентів;
- 3) перестановках символів блоку.

Перший підхід є найпростішим. Разом із зміною довжини блоків l змінюється значення чисел числової моделі, а також їх кількість.

У другому підході числова модель змінюється внаслідок використання різних систем числових еквівалентів. Забезпечити велику кількість можливих числових еквівалентів можна використовуючи формулу:

$$w_i = \sum_{j=0}^{i-1} w_j + m; \quad w_0 = 1; \quad w_1 = k; \quad m = 1,2,\dots; \quad k = 2,3,\dots$$

Таким чином, є можливість формувати $m \cdot k$ систем числових еквівалентів для моделювання.

У третьому підході числова модель змінюється за рахунок перестановок символів у блоках, на які розбиті вхідні дані. Ці перестановки є оборотними, тобто перестановки після яких можна повністю відновити початкові дані. Прикладом такої перестановки є транспозиція та циклічний зсув.

Транспозиція – це перестановка в парах або в групах бітів, яка починається з заданого біту (рис. 2).

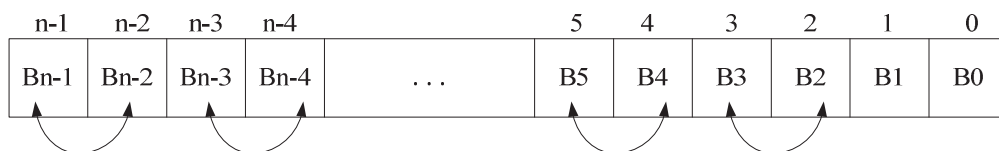


Рисунок 2 – Приклад транспозиції

Розглянуті вище підходи до побудови числових моделей роблять ці моделі адаптивними. Таким чином можна не тільки підбирати тип кодування під модель даних, але й модель даних підлаштовувати під певний тип кодування.

Для вибору найбільш ефективного методу кодування, потрібно дослідити властивості числових моделей вхідних даних.

Методика дослідження і програмний засіб для проведення досліджень

Оскільки числова модель – це послідовність чисел, то в основі дослідження лежить обчислення статистики появи чисел з діапазону $[0; 2^l - 1]$, де l - кількість розрядів у блоці.

Нехай при моделюванні джерело даних розбивається на блоки з l біт - $\{a_1, a_2, a_3, \dots, a_l\}$.

Далі кожному з блоків ставиться у відповідність число N_i , де $N_i \in [0; 2^l - 1]$.

Далі для кожного числа з діапазону $[0; 2^l - 1]$ підраховується кількість його появ у числовій моделі. Результатом даного дослідження є графік, на горизонтальній вісі якого відкладаються числа від 0 до $2^l - 1$, а по вертикальній вісі кількість їх появи у числовій моделі.

Для автоматизації дослідження розроблено програмний засіб, що реалізує вище описаний підхід.

Даний програмний засіб виконує такі функції.

1. Моделювання вхідної інформації з використанням вище зазначених перетворень.
2. Проведення дослідження утвореної числової моделі.
3. Візуалізація результатів досліджень.

Даний програмний засіб перед моделюванням даних дозволяє задавати основні параметри моделювання (рис. 3), що дає змогу керувати числовими моделями, які утворюються.

До основних параметрів належать:

- розмір блоку;
- параметри транспозиції;
- параметри циклічного зсуву.

Після проведення дослідження результати виводяться у вигляді графіка (рис. 3).

Горизонтальна вісь (рис. 3, а) графіку з результатами представляє значення чисел з діапазону $[0; 2^l - 1]$, де l - кількість розрядів у блоці. Оскільки діапазон дуже великий, то зображення кожного можливого значення на горизонтальній осі створить незручність перегляду результатів. Для вирішення даної проблеми діапазон розбивається на 600 піддіапазонів, розмір яких є різним для різних розмірів блоку (рис. 3, б).

Вертикальна вісь (рис. 3, в) ставить у відповідність кожному числу кількість його появ у числовій моделі. Оскільки числа розбиті на піддіапазони, то на вертикальній осі вказується частота появи чисел, що належать піддіапазону.

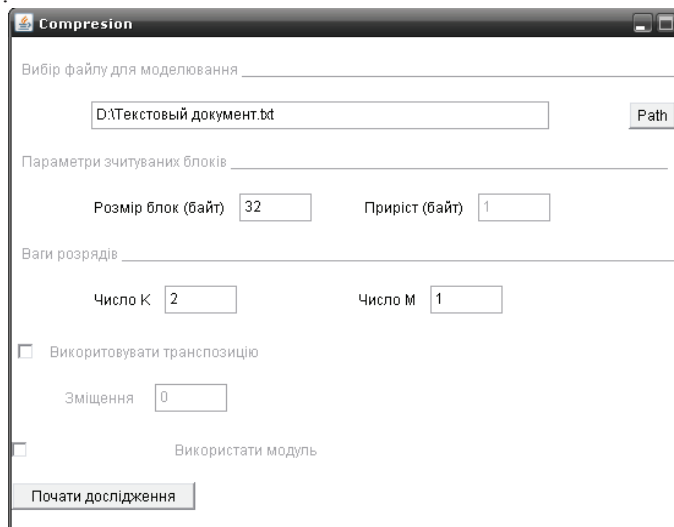


Рисунок 3 – Вигляд вікна з налаштуваннями моделювання

У верхній частині вікна вказуються параметри файлу, параметри моделювання та параметри перетворень (рис. 4, г).

Аналіз отриманих результатів

Під час досліджень числових моделей перевірялась залежність результатів від такого:

- розрядність блоків при моделюванні;
- тип даних;
- вміст файлу.

Результати дослідження впливу зміни розрядності блоків при моделюванні на числову модель представлені на рис.5, рис. 6 і рис. 7.

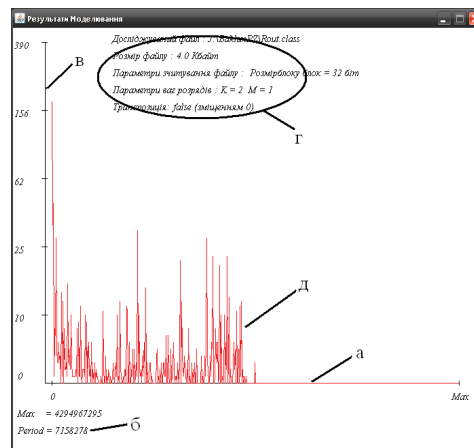


Рисунок 4 – Видяк вікна з результатами досліджень:

а) горизонтальна вісь; б) період; в) вертикальна вісь; г) параметри моделювання; д) результат дослідження

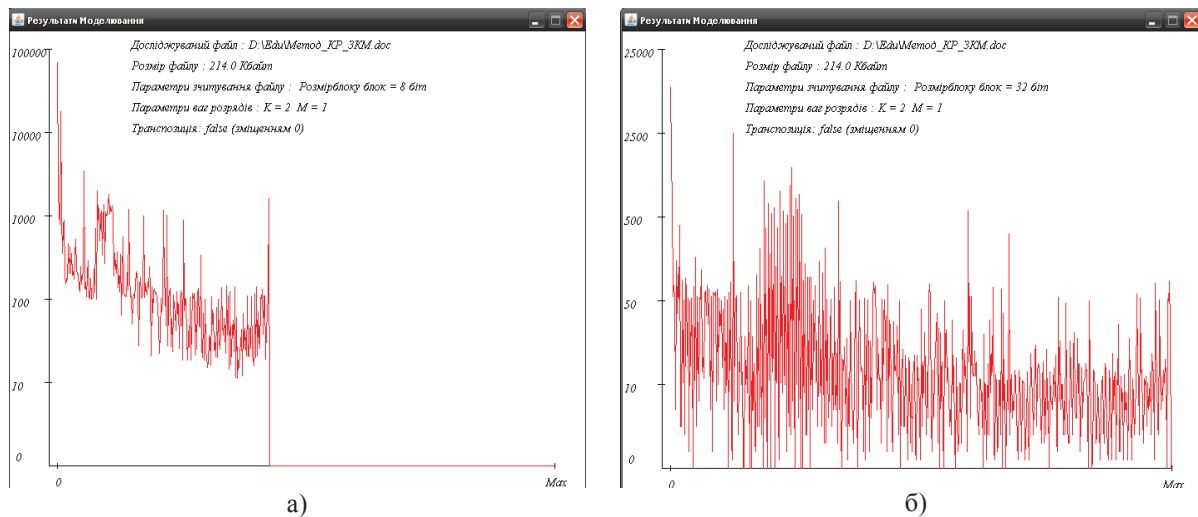


Рисунок 5 – Результати досліджень для розрядності блоків:

а) 8 біт; б) 32 біт;

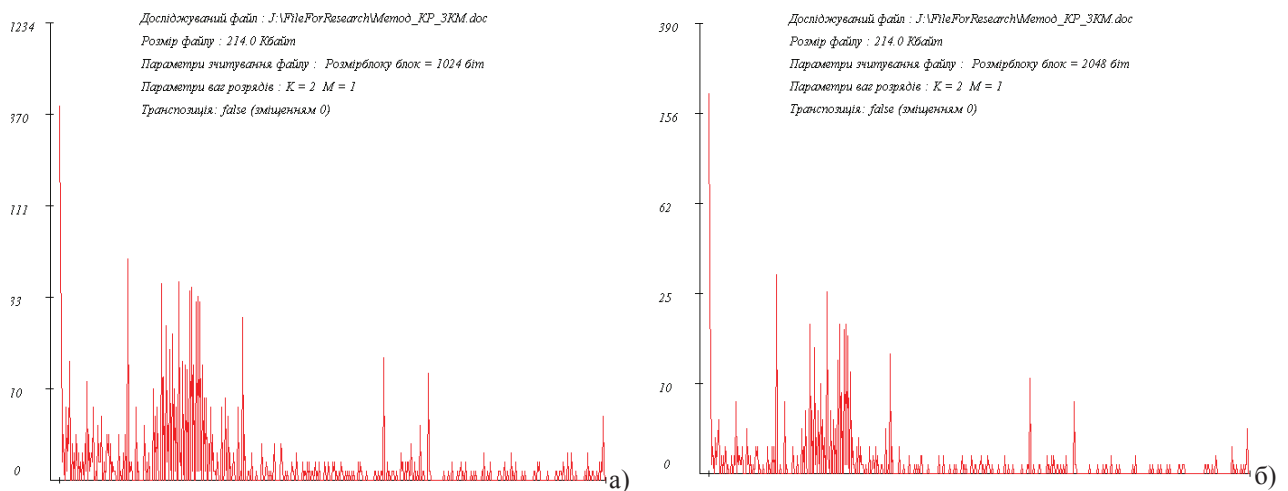


Рисунок 6 – Результати досліджень для розрядності блоків:

а) 1024 біт; б) 2048 біт;

При зміні розрядності блоків числова модель радикально змінюється.

Для блоків малої розрядності спостерігається більш рівномірний розподіл по всіх піддіапазонах.

Збільшення розрядності блоків до 1024 і 2048 приводить до зменшення кількості значень у піддіапазонах, що наближаються до максимального значення, і появи екстремумів у піддіапазонах, що наближаються до нульового значення.

Подальше збільшення розрядності блоку впливає таким чином, що графіки розподілу мають екстремуми в певних піддіапазонах і не мають значень в інших.

Також було проведено дослідження впливу типу даних на числову модель. При цьому для однакових параметрів моделювання здійснювалась побудова числових моделей для файлів різних типів з приблизно однаковими розмірами.

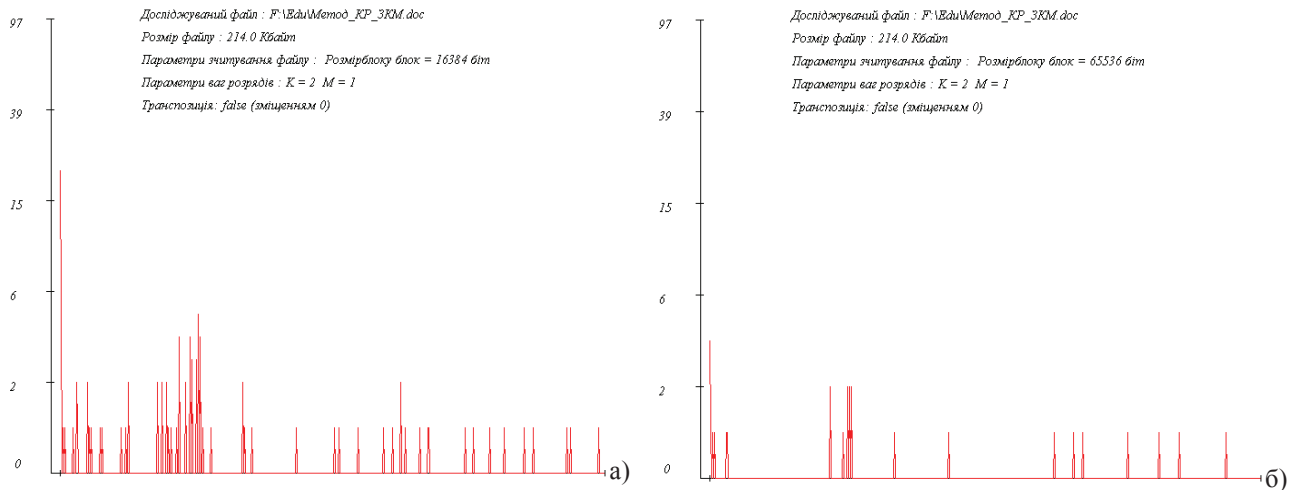


Рисунок 7 – Результати досліджень для розрядності блоків:

а) 16384; б) 65534 біт

Результати такого дослідження наведено на рис. 9 і 10.

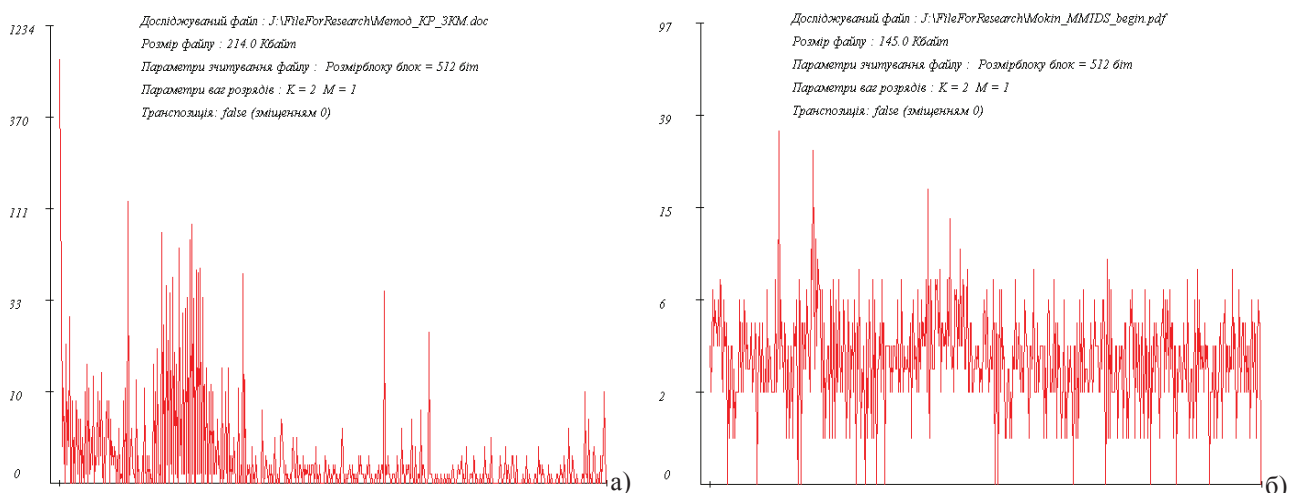


Рисунок 8 – Результати досліджень моделей для різних типів даних:

а) *.doc; б) *.pdf;

З отриманих результатів впливають такі особливості числових моделей для різних типів даних.

Для числової моделі файлу типу *.doc характерні:

- наявність екстремуму у першому піддіапазоні, що свідчить про те, що в числовій моделі є багато значень рівних або близьких нулю;
- наявність великої кількості чисел у середніх піддіапазонах;

- незначна кількість чисел у піддіапазонах, що близькі до максимального значення.

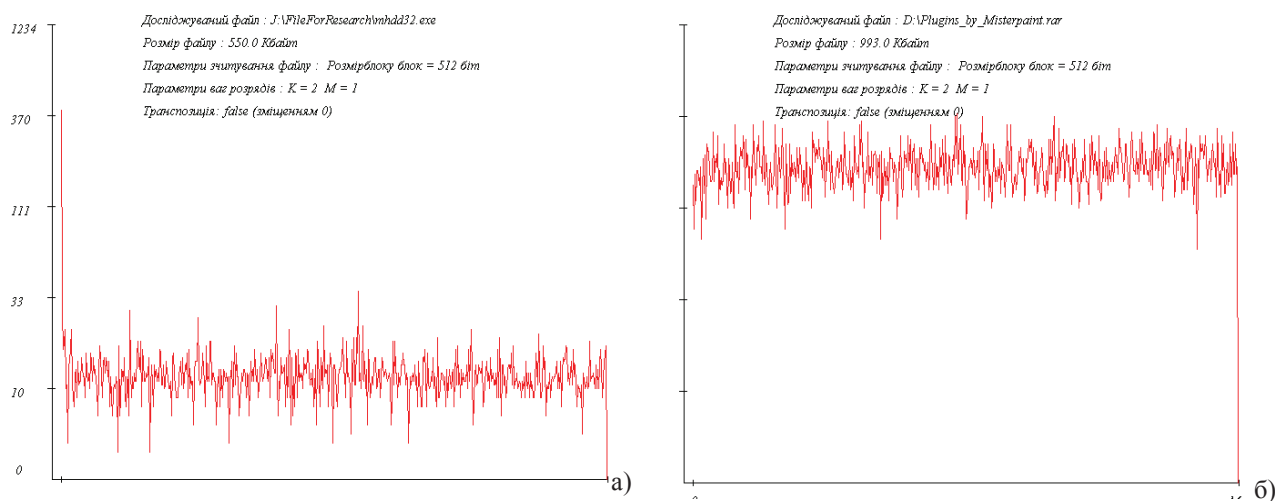


Рисунок 9 – Результати досліджень моделей для різних типів даних:

а) *.exe; б) *.zip

Числова модель файлу типу *.pdf характеризується рівномірним розподілом по всіх піддіапазонах.

Розподіл чисел у числовій моделі файлу типу *.exe має екстремум у першому піддіапазоні, що свідчить про те, що в числовій моделі є багато значень рівних або близьких нулю, а далі є рівномірним.

Для числової моделі файлу типу *.rar є характерним рівномірний розподіл по всіх піддіапазонах.

Також досліджувалось те, як на числову модель впливає вміст файлу. Дане дослідження важливе, тому що існує багато типів даних, які містять в собі інформацію різного типу. Наприклад, файли Microsoft office Document (DOC) можуть містити зображення, текст, формули, діаграми та інше. Залежність числової моделі від контенту файлу продемонстровано на рис. 10.

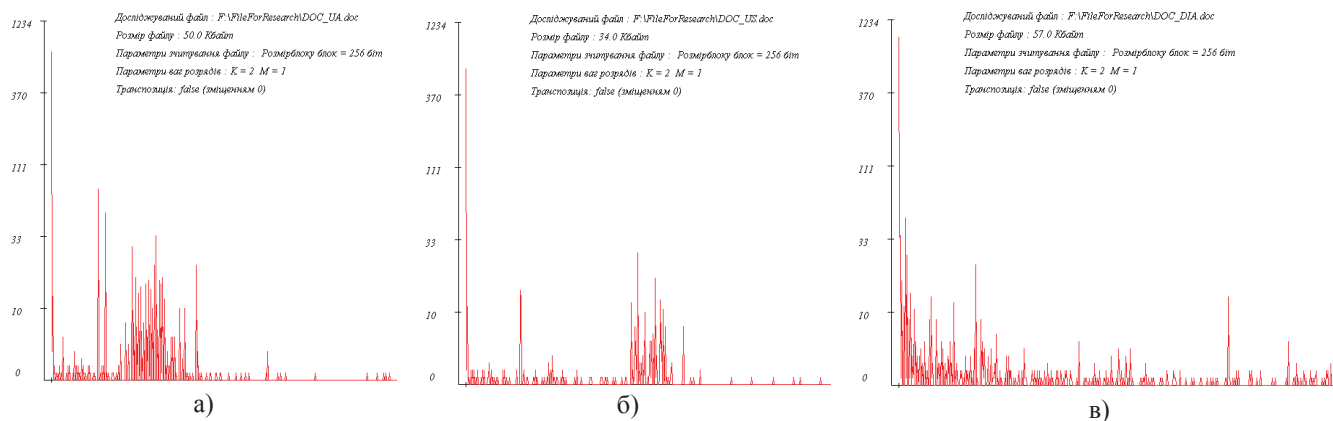


Рисунок 10 – Результати досліджень моделей для файлів з різним вмістом:

а) *.doc з текстом на українській мові; б) *.doc з текстом на англійській мові; в) *.doc з діаграмами

Числова модель файлу типу Microsoft office Document (DOC) з текстом лише українською мовою має:

- екстремум у першому піддіапазоні, що свідчить про те, що в числовій моделі є багато значень рівних або близьких нулю;
- велику кількість чисел у піддіапазонах, що близькі до першого;
- незначна кількість чисел у піддіапазонах, що близькі до максимального значення.

Числова модель файлу типу Microsoft office Document (DOC) з текстом лише англійською мовою схожа до моделі файлу типу Microsoft office Document (DOC) з текстом лише українською мовою, але в ній велику кількість чисел у середніх піддіапазонах.

Висновки

Результати дослідження числових моделей файлів показали таке.

Розмір блоку, якому у відповідність ставиться число, значно впливає на статистичний розподіл. Із збільшенням розрядності він переходить від рівномірного до розподілу з характерними екстремумами.

Числова модель значно залежить від типу файлу. Модель файлу певного типу має свої особливості і здебільшого не схожа на моделі інших типів.

Значний вплив на числову модель файлу чинить його вміст. Файли одного і того ж типу, при різному вмісті, можуть мати різні числові моделі.

Урахування особливостей числових моделей забезпечить адаптацію алгоритму ущільнення для досягнення більшого ступеня ущільнення.

Список використаної літератури

1. Балашов К.Ю. Сжатие информации: анализ методов и подходов. – Минск, 2000. – 42 с
2. Фомин А.А. "Основы сжатия информации" - Санкт-Петербург, 1998г.-289с.
3. Ватолін Д., Ракушняк А., Смірнов М., Юкин В. Методы сжатия данных. Устройство архиваторов, сжатие изображений и видео. – М.: ДИАЛОГ-ФИМИ, 2002. – 384с.
4. Bell T., Witten I, Cleary J. "Modeling for Text Compression", ACM Computing Surveys, Vol.21, No.4, pp.557-591, Dec. 1989.
5. Crochemore M., Lecroq Th. "Text data compression algorithms" Algorithms and Theory of Computation Handbook /Eds. M. J. Atallah, CRC Press Inc., Boca Raton, FL, 1998, pp.12.1-12.23.

Відомості про авторів

Лужецький Володимир Андрійович - д.т.н., професор, завідувач кафедри захисту інформації, Вінницький національний технічний університет, вул. Хмельницьке шосе 95, м.Вінниця.

Кульчицький Андрій Вікторович, магістрант, Вінницький національний технічний університет, вул. Хмельницьке шосе 95, м.Вінниця, тел.: (097)8844455, andriykulchitskiy@yandex.ru.

Алексеева Тетяна Михайлівна – студент, Вінницький національний технічний університет, вул. Хмельницьке шосе 95, м.Вінниця.

ІНФОРМАЦІЙНІ ТЕХНОЛОГІЇ

UDC 519.2

R. T. KASUMOVA

Azerbaijan National Academy of Sciences, Institute of Information Technology, Baku, Azerbaijan

ON INTELLECTUAL ANALYSIS OF DOMAIN NAME REGISTRATION DATA

Анотація: Робота присвячена формуванню бази знань системи доменних імен, що відповідають інтересам Азербайджанської Республіки. З цією метою в роботі розробляється сховище даних для обробки великого обсягу реєстраційних даних доменних імен, проводиться кластеризація цих даних і генеруються правила для видобутку нових знань.

Ключові слова: домен, DNS, адміністратор, реєстратор, реєстрант, кластеризація.

Abstract: The paper is devoted to formation of knowledge base of the domain names system, serving to interests of the Azerbaijan Republic. According to this purpose, the data warehouse is developed for processing great volume of registration data of domain names, clustering data is performed, and rules are generated for extraction of new knowledge.

Key words: domain, domain name system, administrator, registrar, registrant, clustering, categorical data.

Introduction

As a global telecommunications network of information and calculation resources, Internet creates a global information space, serves as a physical basis for World Wide Web and a variety of systems (protocols) of data transfer. Domain name system is used for addressing of requests in Internet. Domain is a spatial region of domain names and is characterized by independence of subdomain allocation, inclusion of information systems in domain structure, availability of special information systems (DNS-servers) containing data on domain names, allocated in the domain, and executes the function of organization of domain name space [1]. Domain name is an identifier of a domain and (or) information system, possesses a unique structure conditioned as: limited set of symbols, a name that identifies the domain, which contains domain name and as a voluntary part domain label or host name unique within the limits of the domain, which is contained in the domain name.

Domain name carries out the functions of identification, individualization and addressing [2]. Analyses demonstrate that, domain names are also used as means for conduction of unfit and unethical competition. One of the examples of unethical use of Internet, is use of famous trademarks, service trademarks, place of origins of commodities, as well as brand names in domain names [3].

Relevance

Currently, deficiencies existing in the field of domain name registration, absence of transparency in regards to domain name registration process, violation of domain name registration rules by the registrars, purchase and use of domain name (in irresponsible manner) with the purpose of its further sale, non-existence of a single policy against invaders of domain names (cyber squatters, phishing etc), as well as software, which allow to conduct an accurate analysis of registration data about domain names collected in DNS (Domain Name System).

Listed problems make conduction of scientific analysis of domain name registration data collected in DNS servers necessary. Considering the dynamics of increasing of number of domain names, it is possible to conduct processing and analysis of this information collected from thousands of domain names, obtain new knowledge, detect regularities and make necessary decisions.

As intellectual analysis of registration data can be the solutions reason of such issues as forecasting, making operative, effective and analytical decisions in domain field, definition of facts, evaluation of the real condition of domain market, research domain name monitoring problems etc.

Objective

The objective of the article is development of data storage for processing of a large volume of domain name registration data, conduct clustering of this data and generates rules for gaining new knowledge.

Tasks

Following tasks are formulated in research purpose:

- 1) Processing of domain name registration data in storage, clustering of this data using CLOPE algorithm;
- 2) Generation of rules using Magnum Opus v.5.4.1. Program for each cluster and decision making.

Problem Solution

Domain registration information include: domain name, registrar, name, address, admin-o, admin-c, organization, created, updated, free-date, phone, e-mail, nserver, type, source, paid-till etc [4] (pic. 1).

Private Person	azerbajan.ru	ru	RUCENTER-REG-RIPN	2000	2011	Russian	+7.095930	-	d@bugtraq.ru	-	active	San Francisco, United States
Minakuman Periasamy	azerbajan.com	com	ENOM, INC.	1997	2017	Malaysia	347482144	1.65688730	nicolov@eml.cc	-	active	London, United Kingdom
M.A. Stenzel	azerbajan.net	net	GODADDY.COM, INC.	1999	2017	US	-	-	-	-	inactive	San Antonio, United States
Role	azerbajan.org	org	Moniker Privacy Services	2000	2011	US	+1.954984	+1.954969	support@moniker.com	sale	passive	United States
Reserved under ICANN Re	azerbajan.info	info	Internet Corporation for Assi	2001	2006	US	+1.310823	+1.310823	res-dom@iana.org	-	inactive	-
Jong Won Hwang	azerbajan.biz	biz	-	2002	2011	KOREA, REPUBLIC	+82.55687	+82.55687	jongwonhwang@yahoo	sale	passiv	Los Angeles, United States
-	azerbajan.tv	tv	ENOM, INC.	2003	2011	-	-	-	-	-	active	Germany
-	azerbajan.su	su	RUCENTER-REG-FID	1999	2011	Russian	+7.495737	+7.495737	ru-ncc@nic.ru	-	passive	United States
Miodrag Radosavljevic	azerbajan.cc	cc	MESH DIGITAL LIMITED	2007	2011	Beograd, Serbia	+381.6337	-	domains@inbox.com	-	passiv	San Diego, United States
Government of India	azerbajan.in	in	RESERVED NAME	2004	2009	India	+91.11243	+91.11243	amar@ernet.in	-	inactive	-
Shajeem Othayoth	azerbajan.me	me	-	2010	2011	India	+91.98953	-	othayoth.domains@gmai	sale	passiv	Frankfurt Am Main, Germany
Private Domain Registratio	azerbajan.ws	ws	.WS Registry	2003	2014	US	+1.760602	-	azerbajan.ws@privated	-	passive	Carlsbad, United States
Telnic-Master-Contact	azerbajan.tel	tel	Telnic Ltd	2009	2011	UNITED KINGDOM	+44.20746	+44.20746	support@registry.nic.tel	-	inactive	-
-	baku.com	com	NETWORK SOLUTIONS, LLC.	1996	2012	US	-	-	-	-	inactive	Herndon, United States
-	baku.net	net	ENOM, INC.	2001	2011	Karachi, PK	+92213002	+92213002	info@dotcorner.com	sale	passive	Frankfurt Am Main, Germany
M.A. Stenzel	baku.org	org	GODADDY.COM, INC.	2000	2011	US	+1.808878	-	contact@stenzel.org	-	inactive	-
Private Person	baku.ru	ru	RUCENTER-REG-RIPN	2000	2011	Russian	+7.095930	-	d@bugtraq.ru	-	active	San Francisco, United States
Moniker Privacy Services	baku.info	info	Moniker Privacy Services	2001	2012	US	+1.954984	+1.954969	BAKU.INFO@domainserv	-	active	Houston, United States
Moniker Privacy Services	baku.biz	biz	Moniker Privacy Services	2005	2011	US	+1.954984	+1.954969	BAKU.BIZ@domainservic	-	active	Houston, United States
-	baku.tv	tv	ENOM, INC.	2004	2011	-	-	-	-	sale	passive	Houston, United States
Private Person	baku.su	su	RUCENTER-REG-FID	2005	2010	Russian	+7.095123	+7.095123	taragir@genocide.ru	-	active	Houston, United States
Domain Manager	baku.in	in	Travel India	2005	2011	India	+91.91674	-	info@travelindia.org.in	-	inactive	-
-	baku.ws	ws	Wild West Domains, Inc.	2004	2011	US	+1.480624	-	dns@jomax.net	-	active	Erfurt, Germany
Marina V Zyryanova	baki.ru	ru	RUCENTER-REG-RIPN	2005	2011	Russian	+7.903793	-	uspeshanya@inbox.ru	-	active	Moscow, Russian Federation
-	baki.com	com	MONIKER ONLINE SERVICES,	2001	2011	Taiwan	+886.9175	-	domadm@mustneed.com	sale	passive	Toronto, Canada
Domain Manager	baki.tv	tv	DOTSTER, INC.	2007	2011	Azerbaijan	+99450217	-	domain@azintergroup.cc	-	active	Vancouver, United States
-	baki.net	net	NETWORK SOLUTIONS, LLC.	1998	2011	US	+1.310929	-	question@gmail.com	sale	passive	Frankfurt Am Main, Germany
Registration Private	baki.org	org	Domains by Proxy, Inc.	2005	2011	US	+1.480624	+1.480624	BAKU.ORG@domainsbypr	sale	passive	Frankfurt Am Main, Germany
Eugene V Petrov	baki.su	su	RUCENTER-REG-FID	2010	2011	Russian	+7.963344	-	etot_domen_prodayotsy	-	inactive	Moscow, Russian

Picture 1 – Domain registration data example

As domain registration data mainly consist of categorical data (which cannot be regulated in space), application of traditional algorithms for objects' clustering is ineffective. Clustering – is a fundamental data analysis and Data Mining task that groups together similar objects. On modern level, clustering is frequently used as the first step at data analysis [5, 6].

High dimensionality (thousand fields) and large volume (hundred thousand and millions of records) of data base tables, complexity of metrics definition for calculation of distance among categorical data, very low productivity at pair-wise comparison of distance between points (k-means) at each iteration procedure on large record arrays, and sometimes even inapplicability require application of scaled algorithms of categorical data clustering. In most algorithms, metrics based on Euclidian distance concept is used as objects' proximity

$$\text{metrics } d(x, y) = \sqrt{\sum_{k=1}^n (x_k - y_k)^2}, \text{ where } x = (x_1, x_2, \dots, x_n), y = (y_1, y_2, \dots, y_n), \text{ thresholds } - \lambda$$

are given for cluster setting, if $d(x, y) < \lambda$, then $x, y \in A_i, i = \overline{1, c}$. But given metrics is not always effective, as it obliges clusters to have a spherical form that is not inherent to them. Consequently, known k-means clustering algorithms cannot achieve a satisfying result.

Currently, a variety of clustering algorithms were proposed for working with categorical data. But, they do not always meet abovementioned requirements. LargeItem is considered as one of the effective algorithms, which is based on optimization of some global criteria.

CLOPE algorithm, proposed in 2002 by a group of Chinese scientists, allows clustering task solution of not only categorical, but also any transactional data [7]. It provides a higher productivity and better quality of clustering in comparison with LargeItem algorithms and many other hierarchical algorithms. The key is that all features of objects are measured in nominal scale. However, before launching CLOPE, data must be brought to normalized form. It can have a form of a binary matrix, as in associative rules, as well as being a biunivocal mapping between a set of unique objects of the table and a set of whole numbers. CLOPE is easily counted and interpreted. During its operation, algorithm saves a small amount of information on each cluster in RAM and requires a minimal number of data set scanning. This allows its application for clustering of huge volumes of categorical data. CLOPE automatically selects a quantity of clusters; moreover it is regulated by a single parameter – repulsion coefficient [8].

Thus in reviewed case, CLOPE is one of the effective algorithms, based on which is the idea of maximization of global criteria – cost function Profit (C), which increases the proximity of transactions in clusters through increasing the cluster histogram parameter (pic.2).

Cluster	Prop. 1	Prop. 2	Prop. 3	Prop. 4	Prop. 5	Prop. 6	Prop. 7	Prop. 8	Prop. 9	Prop. 10	Prop. 11	Prop. 12	Prop. 13	
Tr. 1	1	Private Pers	azerbaijan.ru	ru	RUCENTER-	2000	2011	Russian	+7.095930	-	d@bugtraq	-	active	San Fran
Tr. 2	13	Mikulami	azerbaijan.com	com	ENOM, INC.	1997	2017	Malaysia	347482144	1.6568730	nicolov@em	-	active	London, Uni
Tr. 3	3	M.A. Stentz	azerbaijan.net	net	GODADDY.C	1999	2017	US	-	-	-	-	inactive	San Anton
Tr. 4	3	Role	azerbaijan.org	org	Moniker Priv	2000	2011	US	+1.954984	+1.954969	support@im	sale	passive	United Stati
Tr. 5	7	Reserved u	azerbaijan.info	info	Internet Co	2001	2006	US	+1.310829	+1.310823	res-dom@ia	-	inactive	-
Tr. 6	14	Jong Won H	azerbaijan.biz	biz	-	2002	2011	KOREA, REP	+82.55687	+82.55687	jongwonhw	sale	passiv	Los Angeles
Tr. 7	3	-	azerbaijan.tv	tv	ENOM, INC.	2003	2011	-	-	-	-	-	active	Germany
Tr. 8	12	-	azerbaijan.su	su	RUCENTER-	1999	2011	Russian	+7.495737	+7.495737	ru-icc@nic	-	passive	United Stati
Tr. 9	11	Miodrag Rai	azerbaijan.cc	cc	MESH DIGIT	2007	2011	Beograd, Se	+381.6337	-	domains@in	-	passiv	San Diego, I
Tr. 10	15	Govemen	azerbaijan.in	in	RESERVED I	2004	2009	India	+91.11249	+91.11249	amar@eme	-	inactive	-
Tr. 11	14	Shajsem Ot	azerbaijan.me	me	-	2010	2011	India	+91.98953	-	ofthayoth@i	sale	passiv	Frankfurt Ai
Tr. 12	6	Private Dor	azerbaijan.ws	ws	JWS Registr	2003	2014	US	+1.760602	-	azerbaijan.	-	passive	Carlsbad, U
Tr. 13	15	Tehnic#Nast	azerbaijan.tel	tel	Tehnic Ltd	2009	2011	UNITED KING	+44.20746	+44.20746	support@re	-	inactive	-
Tr. 14	3	-	baku.com	com	NETWORK S	1996	2012	US	-	-	-	-	inactive	Herdron, U
Tr. 15	9	-	baku.net	net	ENOM, INC.	2001	2011	Karachi, PK	+92213002	+92213002	info@dotco	sale	passive	Frankfurt Ai
Tr. 16	3	M.A. Stentz	baku.org	org	GODADDY.C	2000	2011	US	+1.808878	-	contact@sb	-	inactive	-
Tr. 17	1	Private Pers	baku.ru	ru	RUCENTER-	2000	2011	Russian	+7.095930	-	d@bugtraq	-	active	San Fran
Tr. 18	3	Moniker Priv	baku.info	info	Moniker Priv	2001	2012	US	+1.954984	+1.954969	BAKU.INFO	-	active	Houston, U
Tr. 19	3	Moniker Priv	baku.biz	biz	Moniker Priv	2005	2011	US	+1.954984	+1.954969	BAKU.BIZ@	-	active	Houston, U
Tr. 20	3	-	baku.tv	tv	ENOM, INC.	2004	2011	-	-	-	-	sale	passive	Houston, U
Tr. 21	1	Private Pers	baku.su	su	RUCENTER-	2005	2010	Russian	+7.095123	+7.095123	taragr@ger	-	active	Houston, U
Tr. 22	5	Domain Mar	baku.in	in	Travel India	2005	2011	India	+91.91674	-	info@travel	-	inactive	-
Tr. 23	3	-	baku.ws	ws	Wild West C	2004	2011	US	+1.480624	-	dru@jmax	-	active	Erlfurt, Gem
Tr. 24	1	Marina V Zy	baku.ru	ru	RUCENTER-	2005	2011	Russian	+7.903793	-	uspehamyc	-	active	Moscow, RU
Tr. 25	9	-	baku.com	com	MONIKER, O	2001	2011	Taiwan	+886.9175	-	domain@r	sale	passive	Toronto, Ca
Tr. 26	11	Domain Mar	baku.tv	tv	DOTSTER, I	2007	2011	Azerbaijan	+99450217	-	domain@az	-	active	Vancouver,
Tr. 27	3	-	baku.net	net	NETWORK S	1998	2011	US	+1.310929	-	question@q	sale	passive	Frankfurt Ai
Tr. 28	3	Registrar	baku.org	org	Domains bv	2005	2011	US	+1.480624	+1.480624	BAKU.ORG@	sale	passive	Frankfurt Ai
Tr. 29	1	Eugene V Pr	baku.su	su	RUCENTER-	2000	2011	Russian	+7.963344	-	etot_dome	-	inactive	Moscow, RU

Picture 2 –Domain Registration Data Clustering

Formula for calculation of global criteria – cost function looks like following: for given transaction base $D = \{t_1, t_2, \dots, t_n\}$ and r is the repulsion coefficient, to find such a splitting of $C = \{C_1, C_2, \dots, C_k\}$ that

$$Profit(C, r) \rightarrow \max \tag{1}$$

Where r regulates the level of similarity of transactions within the cluster –bigger is r , larger is the final number of clusters.

Cost function formula:

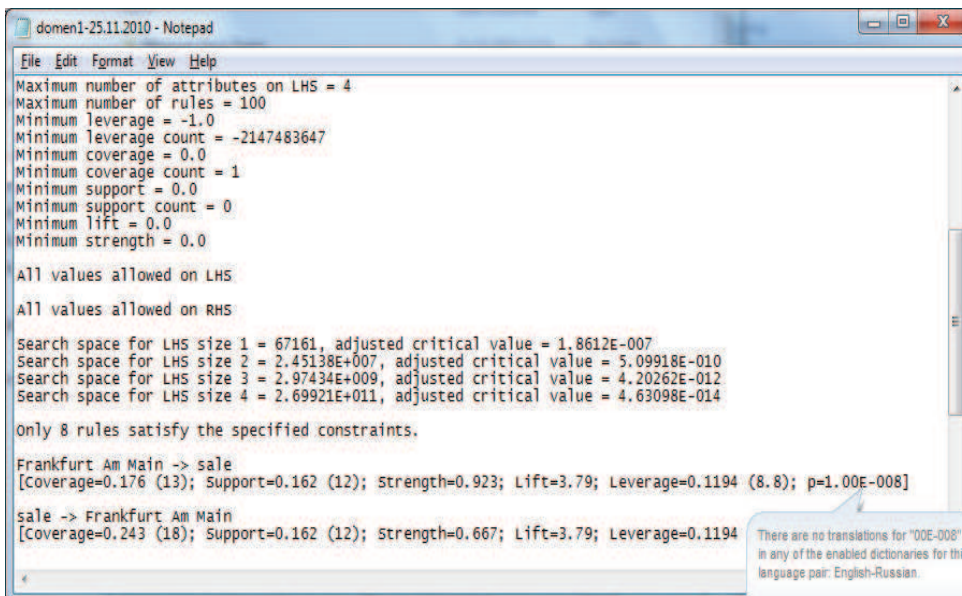
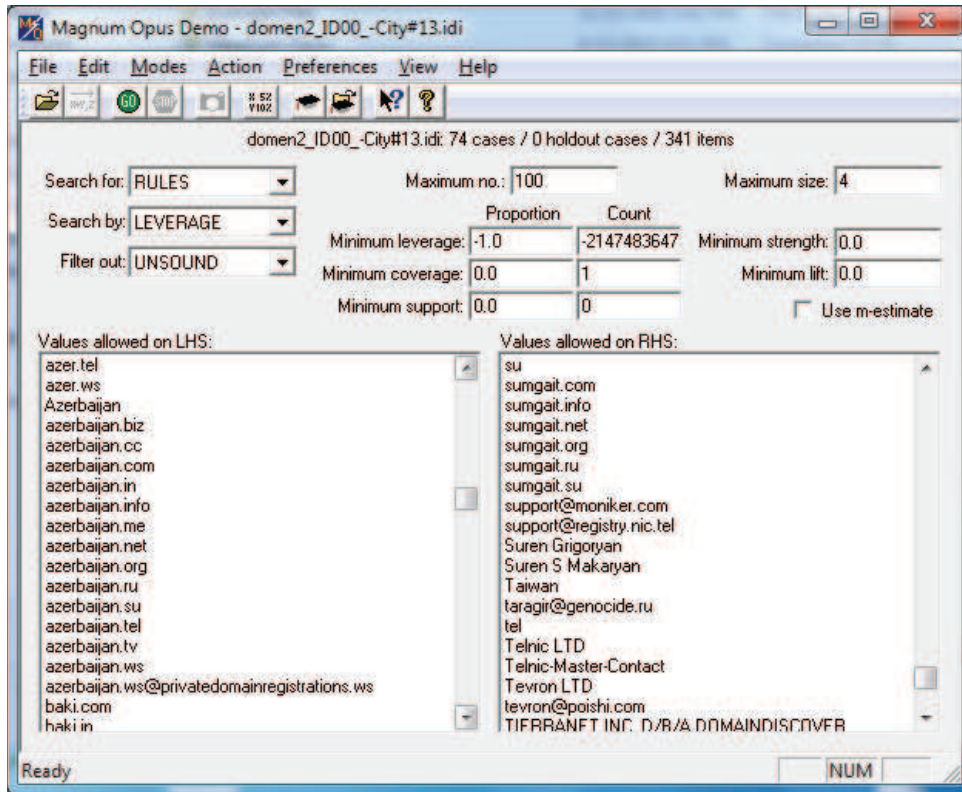
$$Profit(C, r) = \frac{\sum_{i=1}^k \frac{S(C_i)}{W(C_i)^r} \times |C_i|}{\sum_{i=1}^k |C_i|}, \tag{2}$$

where $S(C_i)$ – is the total number of entry of i objects in clusters C_i , $W(C_i)$ - is the quantity of unique objects C_i , $|C_i|$ - is the quantity of objects in i^{th} cluster, k – is the number of clusters, r - is the positive real number larger than 1.

After completion of clustering stage, we generate rules for each cluster using Magnum Opus v.5.4.1 program (<http://www.giwebb.com>), which is given case detects associations within the data framework of one cluster (pic. 3). Magnum Opus is easy-to-use and finds new associations in data. Associative rules are the results of the operation of his program.

In accordance in [9], associative rule is determined following way: let's assume that $I = \{i_1, i_2, \dots, i_n\}$ - a set of elements (binary attributes called elements). Any subset I is called an itemset of elements or simply itemset. Number of elements in the set is called its length. Let's assume that D - is a set of transactions, where each transaction $T, T \subseteq I$ - represents a binary vector, where $T.i_k = 1$, if element $i_k, k = \overline{1, n}$ is present in the transaction, otherwise $T.i_k = 0$ ($T.i_k$ – is the value of k^{th} attribute). Let's assume that X is a set of elements from I . Let's say that, transaction $T, T \subseteq I$ contains X , i.e. $X \subseteq T$, if $\forall i_k \in X$, then $T.i_k = 1$. Associate rule is $X \rightarrow Y, [c, s]$ type implication, where $X \subset I, Y \subset I, X \cap Y = \emptyset, c$ (confidence) - is

the confidence of the rule, s (*support, significance*) - is the support of the rule. Support of the rule - s is the percentage of transactions from D , containing $X \cup Y$, i.e. $s(X \rightarrow Y) = s(X \cup Y)$; and confidence of the rule demonstrates that c percentage of transactions from D containing X also contains Y , i.e. $c(X \rightarrow Y) = s(X \cup Y) / s(X)$. Abovementioned definition is an actual definition of Boolean (binary) associative rule, as it is only reviewed if $i_k, k = \overline{1, n}$ element is present in the transaction or not. In fact, transactions of data bases usually contain numerical and categorical data types.



Picture 3 – Rules generated for each cluster using Magnum Opus v.5.4.1 program

For example, experiments conducted with the domain name system knowledge base, serving the interests of the Republic of Azerbaijan, demonstrated that the majority of generic high level domains – gTLDs with the names of geographical locations of the country were purchased by foreign citizens living outside our republic in 1997-2001 years.

Conclusion

Today, undoubtedly, success of any research field directly depends on its capability of extracting and creating knowledge. With expansion of the commercial use of Internet capabilities, given sphere of human activity is the maximally demanded activity field for gaining profit as for right holders as well as for perpetrators. Usage of such inseparable attribute of presence in the Web as domain name opened new capabilities for lawful, as well as illegal use of such habitual commercial instruments, such as trade mark and brand name. For this reason, detection and replenishment of knowledge in developed domain name system knowledge base can become one of the main research directions in struggle against problems in registration qualification and use of domain names.

Reference

1. Серго А.Г. Доменные имена. М.: «Бестселлер», 2006, с. 368.
2. Милютин З. Ю. Правовой статус доменного имени //Патенты и лицензии. – 2005. № 6. - с. 19-23.
3. Калятин В. О. Проблема конфликта прав на доменные имена с правами на иные средства индивидуализации. // Юридический мир. – 2001. № 5. - с. 19-28
4. Венедрухин А.А. Доменные войны. СПб.: Питер, 2009, с. 224.
5. Дюк В., Самойленко А. Data Mining: Учебный курс. – СПб: Питер, 2001, с. 368.
6. Алгулиев Р.М., Касумова Р.Т., Алекперова И.Я. О современных концепциях, поддерживающих принятие решений //Известия Национальной Академии Наук Азербайджана. Серия физико-математических и технических наук. – 2005, №2, с. 70-75.
7. Yang, Y., Guan, H., You, J. CLOPE: A fast and Effective Clustering Algorithm for Transactional Data /KDD '02 Proceedings of the eighth ACM SIGKDD international conference on Knowledge discovery and data mining. July 23-26, 2002, Edmonton, Alberta, Canada, pp. 682-687.
8. Wang, K., Xu, C., Liu, B. Clustering transactions using large items. In Proc. CIKM'99, Kansas, Missouri, 1999.
9. Agrawal R., Imielinski T., Swami A. Mining association rules between sets of items in large databases. / In Proceedings of the ACM SIGMOD Conference on Management of Data, Washington D.C., May 1993, pages 207-216.

Відомості про авторів

Касумова Рена Тофік кизи – голова відділення Азейбаржанської національної академії наук, інституту інформаційних технологій, вул. Агаєва, 9, Баку, Азейбаржан. (99412) 439-85-48, kasumova-rena@rambler.ru.

ІНФОРМАЦІЙНІ ТЕХНОЛОГІЇ

УДК 004.75, 004.724.2

Г. В. ПОРЄВ

Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут», Київ

МЕТОД ПІДВИЩЕННЯ ТОЧНОСТІ ВІДТВОРЕННЯ КІНЕМАТИЧНИХ ХАРАКТЕРИСТИК ОБ'ЄКТІВ В РОЗПОДІЛЕНИХ МЕРЕЖАХ СИМУЛЯЦІЇ РУХУ

Анотація: В даній роботі запропоновано метод підвищення точності відтворення кінематичних характеристик об'єктів симуляції в розподілених мережах, зокрема ігрових. Метод базується на використанні в протоколі передачі даних додаткових блоків щодо положення керуючих елементів об'єкту, що дозволяє використовувати інтерполяцію положення і стану об'єктів симуляції з більшою точністю. Запропоновано також метод синхронізації багатокористувачького середовища симуляції з нелінійним плином часу.

Ключові слова: розподілені мережі, симулятори, інтерполяція.

Вступ

В середині 1990-х років індустрія виробництва комп'ютерних ігор майже одночасно підійшла до двох революційних на той час технологій — жанр симулятора та так званий мультиплеер (від англ. multiplayer — багато гравців).

Жанр симулятора відрізняється від інших поширених ігрових жанрів тим, що основний акцент ігрового процесу поставлено на якомога більшу відповідність реальним об'єктам, діям з ними, взаємодіям між об'єктами симуляції та між гравцями в умовах наближеного до реальності оточуючого середовища. Класичними прикладами в жанрі симуляторів є автомобільні та авіаційні.

Автомобільний симулятор оперує реалістичною моделлю автомобілів, які взаємодіють між собою, покриттям доріг, погодними умовами тощо. Особливу увагу приділяють моделі механічних ушкоджень та характеристик двигунів і трансмісії, розподілу маси в об'ємі об'єктів симуляції, моделюванню взаємодії різних типів шин з різними типами покриття доріг при різних погодних умовах і т.п.

Більш складний під-жанр авіаційних симуляторів обов'язково включає так звану «модель польоту», що відповідає за обчислення поведінки літального апарату на основі даних про його просторову конфігурацію, аеродинамічні площини, розташування, тип та потужність двигунів. Враховуються властивості атмосфери в залежності від часу доби, сезону, висоти, типу земної поверхні тощо, а також вносяться реалістичні атмосферні ефекти турбулентності та термальні колони [1].

Технологія мультиплеєру дозволяє кільком гравцям взаємодіяти в одному і тому самому ігровому контексті, такому як спільний сюжет, спільне місце дії, спільне керування одним і тим самим об'єктом тощо.

Поєднання цих двох технологій дозволило на сьогоднішній день створити велику кількість успішних програмних продуктів не тільки розважального напрямку, але і професійних комп'ютеризованих тренувальних середовищ.

Проблема часу відповіді

Перші спроби створення мультиплеєрних ігор базувалися на можливостях зв'язку, доступних для персональних комп'ютерів. Здебільшого це були телефонні модеми, які давали можливість з'єднання на швидкостях від 1.2 до 14.4 Кбіт/сек із середнім часом відповіді в невантаженому каналі близько 200-500 мс.

Альтернативою модемному з'єднанню, яка дозволяла підключення більш, ніж 2 гравців одночасно, були локальні мережі того часу, переважна кількість яких була побудована на технологіях компанії Novell. Хоча такі локальні мережі дозволяли знизити час відклику до десятків мілісекунд, вони були практично відсутні в домашньому секторі.

З розвитком технологій зв'язку та дедалі ширшим проникненням мережі Інтернет в усі технологічні сфери людської діяльності, стандартом де-факто для сучасних комп'ютерних ігор стала можливість мультиплеєру в локальній мережі або на виділених серверах через мережу Інтернет.

Попри те, що швидкість передачі даних в сучасних глобальних мережах на кілька порядків вища, ніж на початку 1990-х років, проблема часу відклику не зникла, і в розподілених ігрових мережах, що працюють через Інтернет, актуальна і сьогодні.

Ця проблема полягає в тому, що середній час відклику програмного забезпечення на віддаленому вузлі на команду локального вузла в переважній більшості випадків значно вище, ніж природний час реакції гравця (або час на необхідну дію в симуляторі) при зміні ігрової обстановки.

Якщо при використанні локальних мереж по технології Ethernet при умові відсутності побічного трафіку час відклику становить 1-2 мсек, то час відклику від сервера в мережі Інтернет залежить від багатьох факторів. По-перше, це тип та швидкість клієнтського підключення. Наприклад,

користувачський асиметричний доступ ADSL на швидкості 512 Кбіт/сек дає затримку проходження пакету даних порядку 10-20 мсек за рахунок буферизації даних при модуляції та демодуляції сигналу. По-друге, топологічна відстань до серверу та політика операторів зв'язку, які можуть встановити обмеження швидкості для зарубіжних та супутникових каналів, спричиняють додаткові затримки часу відповіді, що можуть сягати навіть кількох секунд при обміні даними з сервером в іншій частині світу.

В симуляторах рухомих об'єктів (транспортні або авіаційні засоби) кожен клієнт періодично відправляє на сервер дані про своє місцезнаходження, кінематичний стан та контекст управління. Сервер в реальному масштабі часу оброблює отримані дані, та формує поточний стан ігрового контексту, який періодично відсилається клієнтам.

Можлива ситуація, коли значення затримки проходження даних від сервера до клієнтів значно коливаються, що спричиняє порушення синхронізації ігрового контексту, при цьому на кожному клієнті відображається свій контекст, який за кінематичними параметрами відрізняється від усіх інших (рис.1).

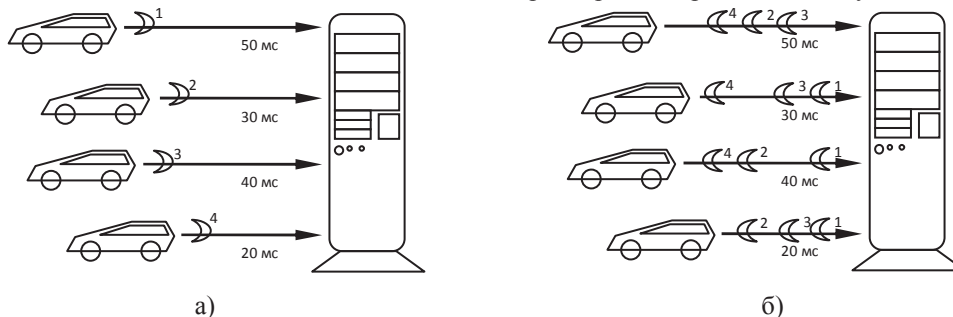


Рисунок 1 – Затримка передачі сигналу в автомобільному симуляторі: а) — позиційні дані від клієнтів до сервера, б) — оновлення позицій суперників

Розробники ігрових протоколів намагаються подолати цю проблему. Наприклад, мультиплеер ігри Need For Speed: Porsche Unleashed передбачає два режими оновлення ігрового контексту — позиційний та так званий «обмін вводом» («Input Exchange»). В позиційному режимі в мережу відсилаються оновлення контексту, які містять інформацію про розташування та орієнтацію автомобілів у просторі, тоді як в режимі обміну вводом в оновленнях міститься інформація про натискання керуючих клавіш та стан ігрових контролерів всіх інших гравців, а позиція і ігровий контекст обчислюються локально і незалежно на кожному клієнті.

Такий підхід дозволяє за рахунок невеликого збільшення об'єму обчислень зменшити затримку і порушення синхронізації ігрового контексту. Повністю проблему це не вирішує, але дозволяє зменшити затримку до середнього рівня реакції гравця на не-швидкісних лініях зв'язку.

Розподілена мережа віртуального повітряного руху VATSIM

VATSIM (Virtual Air Traffic SIMulator) — середовище глобальної симуляції повітряного руху. Клієнти мережі VATSIM підключаються в одному з трьох режимів — спостерігач, авіадиспетчер або пілот. Відповідно відрізняються програмне забезпечення та спектр виконуваних в ігровому процесі функцій.

Мережа VATSIM складається з кількох географічно розподілених серверів, взаємозв'язаних між собою для синхронізації ігрового контексту. З клієнтської точки зору, учасник мережі бачить дії та положення інших учасників незалежно від того, чи підключені вони до того самого сервера, що і перший учасник, чи до інших [2].

Одночасно в мережі VATSIM присутні до 1500 клієнтських підключень, хоча технологічні обмеження на максимальну кількість не оголошені. Протокол взаємодії в мережі є модифікованою версією протоколу FSD (Flight Simulator Daemon, який було розроблено в 1990-х роках) з додаванням авторизації програмного забезпечення по цифровому підпису.

Оскільки VATSIM є не центральним сервером, а розподіленою системою, його серверні компоненти вимагають досить високої полоси пропускання трафіку для організації зв'язку з іншими серверами: за офіційними вимогами — до 10 МБіт/с гарантованого каналу, тоді як клієнтські підключення без врахування обміну голосовими повідомленнями вимагають ширину каналу порядку одиниць кілобайт за секунду.

Однак навіть за умови гарантованого каналу проблема часу відповіді та порушень синхронізації ігрового контексту властива також і мережі VATSIM. Причиною цього є не тільки природна затримка проходження сигналу, але і специфіка самого протоколу FSD, який передбачає оновлення просторового положення та кінематичних характеристик літального апарату в ігровому контексті мережі лише кожні 5 секунд.

Для нормального функціонування та симуляції всесвітнього повітряного руху цивільної авіації така затримка історично склалася для зменшення навантаження по трафіку на сервери VATSIM, оскільки оновлення просторових координат та кінематичних характеристик становлять більшу частину трафіку мережі. На сьогоднішній день, навіть коли швидкості доступу до мережі Інтернет у кінцевих користувачів значно збільшилися у порівнянні з початком життєвого циклу протоколу FSD, збільшення частоти оновлення просторово-кінематичних характеристик літальних апаратів VATSIM вважається недоцільним — в мережі практично відсутні штатні ситуації, які потребують коротшого часу реакції віртуальних пілотів та диспетчерів.

В той же час стає неможливим виконувати синхронні польоти пілотажних груп в близьких пілотажних формаціях. Наприклад, у фронтальній формації з трьох літаків, кожен з яких одночасно з усіма перетинає спільну нормаль до траєкторії польоту, програмне забезпечення кожного віртуального пілота отримує дані про просторово-кінематичні характеристики інших двох пілотів із затримкою щонайменше на 5 секунд (рис.2).

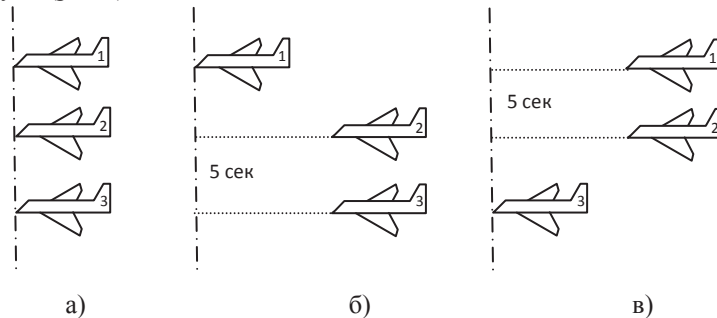


Рисунок 2 – Порухення синхронізації ігрового контексту в мережі VATSIM: а) реальне положення літаків, б) вигляд ігрового контексту з точки зору 1-го пілота, в) вигляд ігрового контексту з точки зору 3-го пілота.

Метод підвищення точності

Якщо навантаження по трафіку на розподілену мережу симуляції повітряного (або будь-якого іншого транспортного) руху дійсно накладає обмеження на частоту передачі оновлень кінематичних параметрів, середовище симулятора на клієнтському боці вимушене інтерполювати попередні параметри на весь час до отримання наступних [3].

У випадку VATSIM, передаються такі кінематичні параметри: географічні довгота та широта, висота, швидкість, курс, крен, диферент та ознака посадки-зупинки. В результаті повітряне судно, яке виконує маневр розвороту або вирівнювання перед посадкою, може бути зображене як таке, що раптово пересувається в латеральній площині або «занурюється» під покриття злітно-посадочної смуги (рис.3).

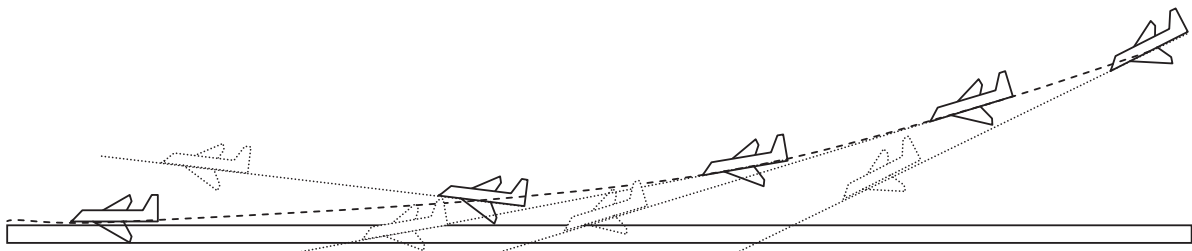


Рисунок 3 – Реальні та інтерполювані траєкторії проходження глісади в мережі VATSIM.

Для уникнення таких небажаних побічних ефектів нами пропонується при розробці нових або модифікації існуючих протоколів мультиплеерних симуляторів руху передавати разом з кінематичними параметрами блок додаткових параметрів, що містять інтерполяційні дані.

Наприклад, при виконанні складного маневру розвороту зі зміною ешелону локальне клієнтське програмне забезпечення має можливість виявити, що елерони, рулі та елеватори не змінюють своє положення протягом певного часу і на основі цього припустити, що швидкість зміни курсу та висоти буде постійною.

В такому випадку інформація про них буде відправлена в додатковому блоці, що дасть можливість партнерам по мережі симулятора точніше передбачати кінематичні характеристики, застосовуючи математичні методи інтерполяції, наприклад, метод Рунге-Кутта.

В симуляторах з передбаченою можливістю ігрового процесу в нелінійному часі (тобто довільне уповільнення або прискорення течії ігрового часу) створення мультиплеерних режимів довго вважалося неможливим, або пов'язаним із значними труднощами.

Нами пропонується новий підхід, який дозволяє цих труднощів завдяки відмові від традиційного підходу до мультиплеер реального часу.

На сьогоднішній день переважна більшість мультиплеерних серверів та систем реалізує модель реального часу в ігровому контексті, коли всі дії та зміни від кожного гравця оброблюються як такі, що трапилися щойно, і сповіщення про це негайно відсилається всім іншим гравцям або тим гравцям, які знаходяться в області видимості першого.

В такій моделі гравець не має можливості поставити ігровий процес на своєму клієнті на паузу, або прискорити чи уповільнити плин часу, або відключитися від мережі без того, щоб не порушити цілісність ігрового контексту. В 1990-х роках розробники мультиплеерних ігор по різному вирішували цю проблему. Наприклад, в іграх від idSoftware, таких як цикл Doom, Heretic та перші випуски Quake, запит паузи на одному з клієнтів в режимі мультиплеера автоматично призупиняв гру на всіх інших. Parallax Software при розробці ігор серії Descent взагалі заборонили тимчасове призупинення гри в режимі мультиплеера.

Система обчислення ігрового контексту, що буде створена за нашим методом, вирішує цю проблему відмовою від моделі реального часу. Натомість кожен клієнт, що підключається до системи, має можливість створити ігровий об'єкт з будь-якою відносною датою в межах зарані заданого системного часового проміжку. Всі дії об'єкту, його кінематичні характеристики та зміни внутрішнього стану будуть записані системою в базу даних, так звану «матрицю реальності», до того моменту ігрового часу, коли гравець припинить з'єднання.

Після оновлення матриці реальності будь-який інший гравець, що створює об'єкт в області видимості попереднього та досить близького проміжку часу, отримує від системи ігровий контекст, в якому буде присутній попередній об'єкт, а всі його дії будуть відтворені в ігровому контексті у відповідності до внутрішнього масштабу часу. Відповідно, всі дії, характеристики та зміни стану кожного наступного ігрового об'єкту будуть також записані до матриці реальності.

Гравці, що приєднуються до системи, будуть мати можливості або створення нового ігрового об'єкту, або використання існуючого з того моменту, коли до системи надійшло його останнє оновлення перед відключенням попереднього гравця.

Така система буде нами реалізована як платформа для мультиплеерного середовища космічного симулятора OrbiterSim, який відзначається необхідністю надзвичайно широких меж керування динамічним часом.

Висновки

Проаналізовані системотехнічні причини виникнення затримок часу відтворення кінематичних характеристик в розподілених системах симуляції, в тому числі ігрових, та розглянуті існуючі рішення, які були застосовані розробниками таких систем.

На прикладі мережі симуляції віртуального повітряного руху VATSIM показано, що причини виникнення затримки та порушення ігрового контексту можуть мати не тільки системотехнічний характер, але і бути зумовлені економічними міркуваннями та вертикальною сумісністю технологій.

Запропоновано новий метод підвищення точності відтворення кінематичних характеристик об'єктів в розподілених ігрових мережах симуляції руху та новий метод вирішення проблеми створення мультиплеерних середовищ для ігрового контексту, який передбачає використання нелінійного часу.

Робота виконана в рамках гранту президента України для підтримки наукових досліджень молодих вчених, НДР GP/F27-0040 «Дослідження регуляційних та рейтингових методів в однорангових мережах типу BitTorrent» договір № Ф27/8-2010 від 12 лютого 2010.

Список використаної літератури

1. A. Rollings, E. Adams "On Game Design".—Indianapolis (USA): New Riders Publishing, 2003.—648 p.
2. Castronova E. "Synthetic Worlds".—Chicago: University of Chicago Press, 2005.—322 p.
3. Singhal S., Zyda M. "Networked Virtual Environments: Design and Implementation".—New York: Addison Wesley, 1999.—330 p.

Відомості про авторів

Порєв Геннадій Володимирович — к.т.н., старший науковий співробітник, докторант Національного технічного університету України «КПІ», пр.Перемоги, 37, м.Київ, 03056, тел.. 258-52-09, +380-68-321-345-1, core@barvinok.net

ІНФОРМАЦІЙНІ ТЕХНОЛОГІЇ

УДК 004.42

С. М. ЗЛЕПКО, С. В. ТИМЧИК, С. В. КОСТШИН, Д. Х. ШТОФЕЛЬ

Вінницький національний технічний університет, Вінниця

РОЗРОБКА ПРОГРАМНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ІНФОРМАЦІЙНОЇ ТЕХНОЛОГІЇ ПСИХОФІЗІОЛОГІЧНОГО ВІДБОРУ КАНДИДАТІВ НА КОНТРАКТНУ СЛУЖБУ

Анотація: В статті висунуто вимоги до тестового комплексу для психофізіологічного тестування. Наведено структуру програмно-технічного комплексу Військкомат-контракт. Описано структуру модулю захисту комплексу.

Ключові слова: Військкомат-контракт, захист програми, тестування кандидатів на службу

Вступ

Застосування в психології і медицині сучасних інформаційних технологій дозволяє раціонально використовувати передові методи тестування і діагностування персоналу, аналізувати достатньо потужні бази даних і знань для прийняття адекватних та обґрунтованих рішень, що сприяє не тільки підвищенню якості психологічної або медичної допомоги, а сприяє не тільки підвищенню якості психологічної або медичної допомоги, а сприяє формуванню більш виваженого професійного рівня психологів і лікарів.

Важливе місце у вищезазначеному процесі відіграють етапи розробки програмного забезпечення та побудови баз даних і знань, від структури та алгоритму функціонування яких суттєво залежить комфортність роботи з такими системами і технологіями, рівень оперативності та якості отриманої інформації, подальший розвиток самих систем і технологій.

Постановка задачі

Сучасний стан розвитку технологій у вказаній області змушує розробляти нові підходи до процесу діагностики і відбору персоналу. Для програмної реалізації вказаних технологій необхідно визначити вимоги, яким повинні відповідати такі системи, а також запропонувати раціональну структуру програмного комплексу для його оптимального функціонування.

Вимоги до систем комп'ютерного тестування

Як інструментальний засіб будемо використовувати систему комп'ютерного тестування, що задовольняє наступним вимогам [1]:

- простота підготовки тестових завдань (завдання можуть ставитися операторами-психологами, які в мінімальному обсязі обізнані з комп'ютером);
- зручна система управління базами (видалення, додавання респондентів, об'єднання баз завдань, їх експорту, редагування);
- наявність систем збору й обробки статистичної інформації з результатами тестування;
- легкість організації оперативного контролю над процесом тестування;
- зручні засоби рішення задач;
- компактність;
- оптимальні системні вимоги.

Опис структури програмного комплексу

Програмний комплекс являє собою програмне забезпечення, яке розраховане на РС-сумісну платформу. Воно оформлено у стандартному для Windows стилі. Всі стандартні функціональні клавіші задіяні для цього програмного засобу. База даних виконана на ядрі MySQL 5.0, тому для роботи з програмним комплексом необхідно мати встановлений драйвер цієї бази даних [2].

Основною програмною оболонкою комплексу являється „Картка психологічного супроводження”. В ній відображені всі відомості про кандидата і з її меню можна викликати тести, які повинен пройти кандидат. Вона також дає можливість переглянути загальні результати і історію тестування кандидата по всіх тестах і сформулювати інтегральне резюме.

Установка програмного комплексу можлива у двох варіантах. Перший варіант – серверний – розширений, включає в себе весь програмний комплекс (клієнтську частину) разом з сервером баз даних. Дані по персональній інформації кандидатів і результатам їх тестування зберігаються на сервері. Всі клієнтські станції підключаються по локальній мережі до серверної бази.

Клієнтська частина складається лише з програмного комплексу. Вона вміщує карту психологічного супроводження, бібліотеку тестів, шаблони експорту резюме.

Бібліотека тестів складається з 10-ти тестових методик [3]. Ці тести дозволяють різностороннє визначити всі основні напрямки психіки кандидата, які можуть вплинути на його службу у ЗСУ. Вони дозволяють сформулювати повномасштабну узагальнену модель особистості кандидата.

Програма для роботи з базою карток психологічного супроводження кандидатів дозволяє відображувати, редагувати, видаляти і експортувати карти, які містять в собі повні дані про кандидата, який повинен пройти тестування на програмному комплексі.



Рисунок 1 – Ієрархія мережевих програмних засобів

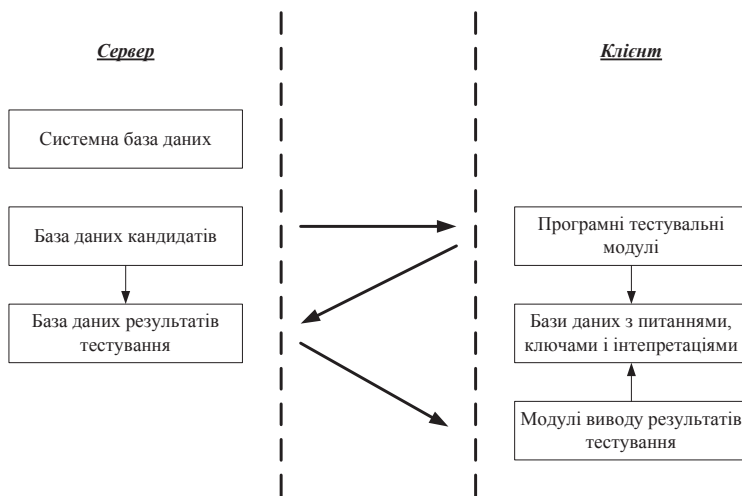


Рисунок 2 – Принцип взаємозв'язку між сервером і клієнтом

1. Розроблення інтерфейсу користувача

1.1. Реєстрація адміністраторів програмного комплексу

Реєстрація адміністраторів дозволяє розставити права всіх користувачів програмного комплексу. Це дозволяє сформувати кілька рівнів доступу, що необхідно для захисту певних областей пам'яті програми і бази даних. Ця функція реалізується утилітою „Оператор”.

Запуск програми здійснюється за допомогою відповідного ярлика в групі програм: „Пуск” – „Програмы” – „ВКК” – „Оператор”. Результатом цих дій буде запуск програми, вікно якої показано на рисунку 3.

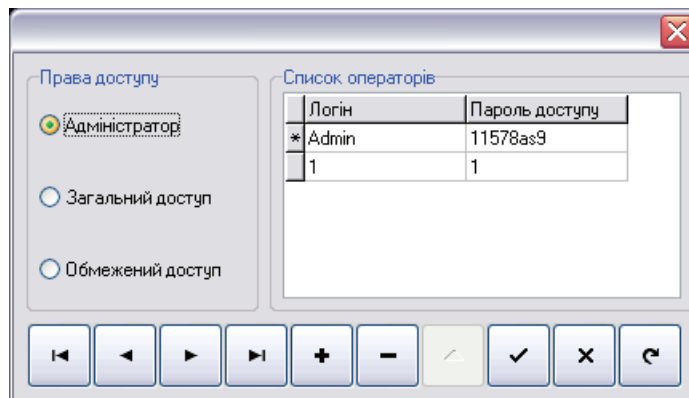


Рисунок 3 – Головне вікно програми „Оператор”

Введення нового користувача відбувається за допомогою кнопки „+”. В поле, яке з’явилося необхідно ввести свій особистий логін і пароль. Логін (LogIn) – ім’я користувача, повинно не містити пробілів і національних символів; пароль (Password) – бажано достатньо складний, але водночас такий, який легко запам’ятовується. Логін і пароль використовуються при запуску програмного комплексу з метою визначення рівня доступу сеансу до бази даних і при друку інтегрального резюме (табл. 1).

Таблиця 1.

Ранжування прав доступу до бази даних	
Рівень прав	Опис
Адміністратор	Можливе внесення, редагування, зчитування і видалення даних, максимальний рівень доступу.
Загальний доступ	Можливе зчитування і перегляд даних карти психологічного супроводження, доступне тестування кандидатів.
Обмежений доступ	Можливе лише зчитування і перегляд даних із бази, будь-яке редагування і внесення даних заборонено.

Після введення логіну і паролю, необхідно вибрати рівень прав доступу і підтвердити свій вибір шляхом натиснення кнопки „√”. Після підтвердження вводу користувача з’явиться вікно з відображенням обраних даних.

Доступ до програми „Оператор” повинен здійснювати лише керівник.

1.2. Система пошуку

Система пошуку по заданим критеріям в базі даних розроблена для зручності орієнтування у випадку значної кількості записів. Вона здійснює пошук по прізвищу кандидата і його групі. Пошук може відбуватися по одному з даних параметрів.

Пошук можливий лише по одному з двох параметрів – прізвище кандидата або його група. Відповідно до заданих умов, при натисненні кнопки „Знайти” у картку психологічного супроводження будуть завантажені анкети всіх кандидатів. При пошуку з пустими початковими умовами, у картку будуть завантажені анкети всіх наявних в базі даних кандидатів. У випадку відсутності в базі запрошених параметрів у картку психологічного супроводження не буде завантажена жодна з анкет і вона завантажиться пустою.

Рисунок 4 – Картка психологічного супроводження, вкладка «Біографічні дані»

Пошук по групі створений для зручності сортування кандидатів. Список груп знаходиться в файлах „group_ru.cpp” і „group_ua.cpp” за адресою „C:\vkk\”. Списки груп потрібно створити після встановлення програми за допомогою програми „Блокнот”, або будь-якого іншого тестового редактора і не змінювати їх на протязі її використання.

Якщо при внесенні кандидатів в картці психологічного супроводження була введена інформація по групам, які не зафіксовані в файлах „group_ru.cpp” і „group_ua.cpp”, тоді пошук за допомогою „Системи пошуку” відбуватися не буде.

Висновки

1. Розроблено алгоритмічно-програмне забезпечення для інформаційної технології психофізіологічного тестування і відбору кандидатів на службу за контрактом в ЗСУ, яке характеризується зручністю підготовки тестових завдань, адаптованою системою управління базами даних, наявністю системи збору та обробки статистичної інформації, оперативним контролем за процесом тестування і компактністю, що забезпечило високу надійність розроблених алгоритмічно-програмних засобів в нормальних умовах роботи та умовах підвищеного психоемоційного напруження [4].

2. Розроблено програму «Картка психологічного супроводження», яка призначена для відображення особистих даних кандидатів, складається з трьох основних частин «Біографічні дані», «Результати психодіагностики», «Проходження психодіагностики» і дозволяє вносити, відображати, редагувати, видаляти і експортувати карти психологічного супроводження, а також – формувати інтегральне резюме придатності кандидатів, та їх відповідності родам військ і займаним посадам.

Список використаної літератури

1. Інформаційна технологія психофізіологічного тестування і відбору персоналу для органів внутрішніх справ України : [Монографія] / С.М. Злепко, Л.Г. Коваль, М.Т. Бондарчук та ін. — Вінниця: УНІВЕРСУМ–Вінниця, 2008. — 154 с.
2. Дюбуа П. MySQL – К: Вільямс, 2004 – 1056 с.
3. Большая энциклопедия тестов. — М.: ЭКСМО, 2006. — 416 с.
4. Злепко С.М. Тестовий програмний комплекс “Військкомат-контракт” для відбору кандидатів на військову службу за контрактом в Збройні Сили України / С.М. Злепко, О.В. Коломієць, Л.Г. Коваль, В.В. Петренко // Вимірювальна та обчислювальна техніка в технологічних процесах. — 2008. — № 2. — С. 149-152.

Відомості про авторів

Злепко Сергій Макарович – д.т.н., професор, завідувач кафедри проектування медико-біологічної апаратури, Вінницький національний технічний університет, Хмельницьке шосе, 95, м. Вінниця, 21021, тел. 598122, zsm@ukr.net.

Тимчик Сергій Васильович – асистент кафедри проектування медико-біологічної апаратури, Вінницький національний технічний університет, Хмельницьке шосе, 95, м. Вінниця, 21021.

Костішин Сергій Володимирович – аспірант кафедри проектування медико-біологічної апаратури, Вінницький національний технічний університет, Хмельницьке шосе, 95, м.Вінниця, 21021, seruykost@ Rambler.ru.

Штофель Дмитро Хуанович – асистент кафедри проектування медико-біологічної апаратури, Вінницький національний технічний університет, Хмельницьке шосе, 95, м. Вінниця, 21021.

ІНФОРМАЦІЙНІ ТЕХНОЛОГІЇ

УДК 530.145.

О. Я. ЯРЕМЧУК

СИСТЕМНИЙ ПІДХІД ДО ОБҐРУНТУВАННЯ ПЕРСПЕКТИВ РОЗВИТКУ ЗАТ «УКРПРОФТУР»

Анотація: В даній роботі на основі системного підходу проаналізовано розвиток ЗАТ «Укрпрофтур», використовуючи процедури: SWOT-аналізу для проведення діагностики розвитку туристичного підприємства на основі дослідження внутрішнього та зовнішнього середовища; побудовано спектр економетричних моделей для аналізу та прогнозування основних показників фінансово-господарської діяльності товариства на основі обробки статистичних даних даного підприємства.

Ключові слова: SWOT-аналіз, економетричні методи, характеристика прогнозу, туристичне підприємство, стратегія.

Вступ

Методологія і методи управління туристичним підприємством можуть успішно удосконалюватися лише на основі поглибленого системного вивчення змісту загальних процесів управління організаціями. Сучасне підприємство можна представити як складну систему, що характеризується наявністю комплексу взаємозв'язаних підсистем, які виконують різні функції. У даній статті об'єктом дослідження є туристичне підприємство ЗАТ «Укрпрофтур», яке у термінах системного підходу є складною динамічною керованою системою.

Методологічною базою даного дослідження є праці вітчизняних і зарубіжних фахівців в області управління підприємством в ринкових умовах: Н. Андерсона, Н. Гованні, Е. Гуммеса, Д. Джобберта, Ф. Котлера, Т. Левіна, М. Х. Мескона, М. Альберта, Ф. Хедоури [2], В. В. Травина, И. Н. Герчикова, В. Н. Попова [3] Л. В. Балабанової [4], Р. А. Фатхудинова [5] та багатьох ін.

Постановка задачі дослідження

Метою даної роботи є системне дослідження підприємства ЗАТ «Укрпрофтур» для вироблення та забезпечення ефективних управлінських стратегій на основі підсистеми «SWOT-аналіз», що є складовою частиною інформаційно-технічної платформи сценарного аналізу «Системи підтримки прийняття рішень для регіонального рівня в туризмі» [5]. Використовуючи показники фінансово-господарської діяльності товариства за 1996-2008 рр., провести моделювання стану підприємства та виконати короткострокове прогнозування.

Актуальність даного дослідження зумовлена напрямком діяльності ЗАТ «Укрпрофтур», а саме розвитком соціального туризму: надання послуг по відпочинку та оздоровленню широким верствам населення за найнижчими, прийнятними цінами та – розробкою сценаріїв його розвитку.

Результати дослідження

Важливу роль у системному підході [1] при стратегічному аналізі відіграє визначення середовища, до якого відносять сукупність процесів, явищ, параметрів, що впливають на систему, але не підконтрольні їй, тому вивчення форм і методів взаємодії системи (туристичного підприємства ЗАТ «Укрпрофтур») із середовищем є однією із основних складових частин системного аналізу (SWOT-аналіз)[4]. Крім того, для визначення свого місця на ринку і прогнозування ринкової діяльності кожне туристичне підприємство (типу ЗАТ «Укрпрофтур») повинно аналізувати і оцінювати свій власний потенціал і чинники, які можуть вплинути на стратегію фірми. Таку оцінку стану і прогноз еволюції даної системи проводився за допомогою економетричного аналізу показників діяльності підприємства.

Вказаний аналіз проведемо в два етапи.

1 етап. SWOT-аналіз. SWOT-аналіз дозволяє провести систематизацію отриманих результатів аналізу по таких групах: сильні і слабкі сторони в діяльності самої організації (внутрішні чинники); сприятливі можливості і загрози з боку ринкового середовища (зовнішні чинники) [3].

Основне завдання зовнішнього аналізу – визначити і зрозуміти можливості і загрози, які можуть мати місце в сьогоденні або виникнути для туристичного підприємства в майбутньому. Аналіз внутрішнього потенціалу туристичного підприємства дає можливість визначити його сильні і слабкі сторони, оцінити їх взаємозв'язок з чинниками зовнішнього середовища [2, 6].

Підсистема «SWOT-аналіз» дозволяє вводити категорії (параметри) за якими групуються, вносяться і редагуються сильні і слабкі сторони, а також сприятливі можливості і потенційні загрози; проводити ранжування даних характеристик за допомогою експертних оцінок на основі числової шкали та шкали Міллера. Вікно, яке дозволяє виконати вказані дії наведено на рис. 1.

В SWOT-аналізі необхідно не тільки розкрити сильні й слабкі сторони, загрози й можливості, але й спробувати оцінити їх з погляду на те, наскільки важливим вони є для туристичного підприємства. Для цього кожену сильну й слабку сторону, можливість та загрозу оцінюємо за двома параметрами, поставивши собі два запитання: «Наскільки важлива дана характеристика» і «Наскільки це впливає на

туристичне підприємство» (рис. 1, права сторона вікна). Дана система передбачає проведення експертного оцінювання як за числовою шкалою так і за шкалою Міллера.

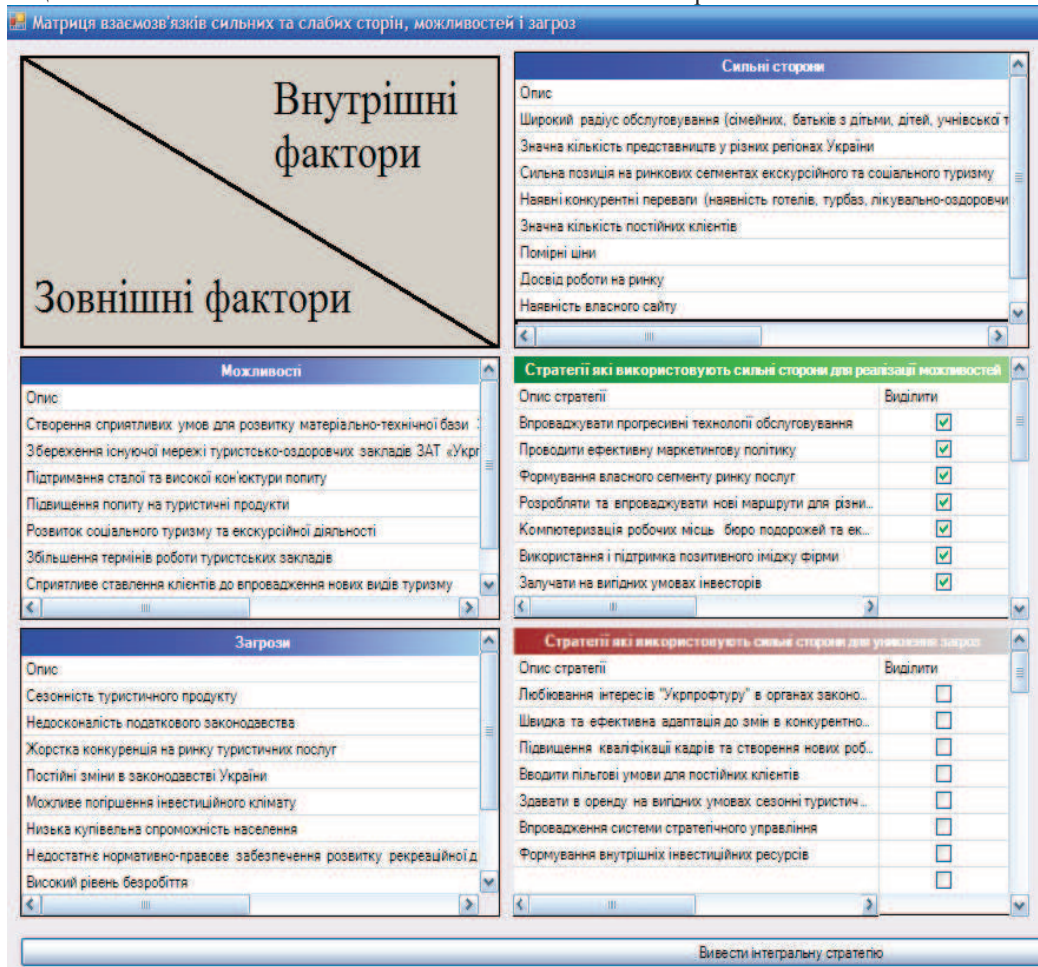


Рисунок 1 - Вікно підсистеми «SWOT-аналіз»

Аналогічні дії проводимо для можливостей та загроз. Зауважимо, що проведення ранжування істотно залежить від експертних оцінок, тому нами також розглядається можливість їх одержання на основі нечіткого підходу.

Після ранжування сильних та слабких сторін, можливостей та загроз, заносимо їх у комірки SWOT-матриці відповідного вікна системи, частина якого зображена на рис. 2 (у послідовності спадання їх дольової частки).

SWOT				
Файл Обрахувати ваги Стратегії Правка Довідка				
Категорії				
Внутрішні :	Сильні сторони	Значимість для галузі	Експертна оцінка впливу	Відносна частка
організація	Досвід роботи на ринку	2	5	0,085
маркетинг	Широкий радіус обслуговування (сімейних, батьків з...	4	4	0,136
матеріально-технічна база	Значна кількість постійних клієнтів	5	3	0,127
фінанси				
інновації				
Зовнішні :	Слабкі сторони	Значимість для галузі	Експертна оцінка впливу	Відносна частка
фактори попиту	Недостатньо ефективна робота з клієнтами	3	3	0,089
фактори збуту	Відсутність системного рекламного та інформаційно...	5	3	0,149
фактори конкуренції	Відсутність державного замовлення на послуги закл...	4	4	0,158
економічні фактори				
соціально-демографічні фактори				
соціально-культурні фактори				

Рисунок 2 – Вікно матриці взаємозв'язків сильних та слабких сторін, можливостей та загроз

Система дозволяє розробляти стратегії, спрямовані на запобігання впливу загроз; зіставляти переваги фірми з ринковими можливостями; розробляти стратегічні напрямки подолання слабких сторін.

Тобто, остаточне оцінювання сильних і слабких сторін, можливостей та загроз проводять за допомогою матриці-аналізу в чотирьох розділах «Опис стратегії». На рис. 2 наведено лише дві стратегії.

Таким чином виділяється чотири можливі стратегії розвитку туристичного підприємства ЗАТ «Укрпрофтур», проаналізувавши які будемо інтегральну стратегію розвитку (рис. 3), яку і виводимо нажавши на кнопку «Вивести інтегральну стратегію».

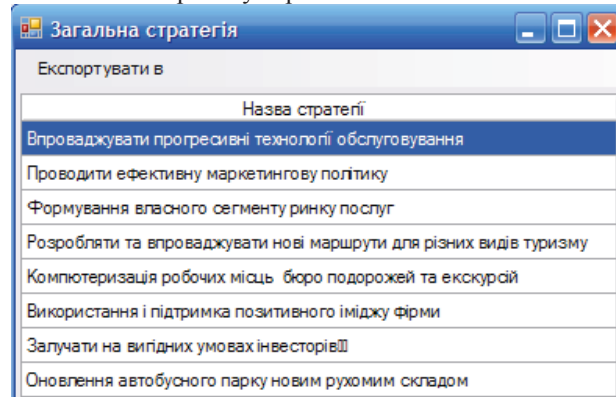


Рисунок 3 – Вікно загальної інтегральної стратегії

Зауважимо, що інтегральна стратегія визначається на основі суб'єктивних оцінок експертів в туристичній галузі і суттєво залежить від послідовних суджень експертів.

Описана підсистема «SWOT-аналіз» розроблена на основі мови програмування C# на платформі .NET 3.5 в середовищі візуального програмування Visual Studio 2008 з використанням таких компонентів як Windows Forms та Source Grid. Дані в програмі розміщуються динамічно в оперативній пам'яті. В розробці програмного забезпечення застосовувався об'єктно-орієнтований підхід. Зауважимо, що даний програмний продукт може бути запущений на операційній системі Linux з використанням Mono Framework.

Ціль даної програмної реалізації є допомога експерту оперативно аналізувати та вирішувати задачі аналізу функціонування та визначення бажаного стану, а також розробляти можливі стратегії розвитку як для туристичного підприємства так і для туристичної галузі будь-якого регіону.

II етап. Оцінювання стану та короткострокове прогнозування. Здатність системи до розвитку в системному аналізі розглядається як необхідна умова її життєздатності, що забезпечується через самовдосконалення та самозбереження. Розвиток системи – це перехід з одного стану в інший зі збереженням основних системних ознак. Стан системи можна описати набором параметрів, які найповніше характеризують її в кожний момент часу. До основних системних параметрів, які визначають стан туристичного підприємства ЗАТ «Укрпрофтур», належать: кількість обслужених туристів (тис. людино-днів, тис. чоловік, тис. екскурсантів), кількість працівників (спискова чисельність), середньомісячні доходи працівників (грн.) та ін.

На цьому етапі нашого дослідження проводимо моделювання та прогнозування основних фінансово-економічних показників діяльності ЗАТ «Укрпрофтур» на основі статистичних даних (1996р. – 2008 р.) [8] з допомогою економічного пакету EVIEWS 6.

Порядок побудови моделей проводиться за наступною схемою [8]:

1. Спочатку будемо модель **AR** для різних значень параметру (коефіцієнти рівняння визначаємо за допомогою МНК) та вибираємо з них одну «найкращу» за наступними характеристиками: коефіцієнт множинної детермінації (R^2), сума квадратів похибок (**СКП**), статистика Дарбіна Уотсона (**DW**), уточнений коефіцієнт детермінації (R_{adj}^2) та параметрами прогнозу: середньоквадратична похибка (**RMSE**), середня абсолютна похибка в процентах (**MAPE**) і коефіцієнт Тейла (**U**).

2. Для цієї «найкращої» моделі зі всіх конкурентних **AR** будемо: її графік різниць (помилки) від статистичних даних; графік прогнозу за динамічним методом; графік прогнозу за статичним методом.

3. Повторюємо п.1,2 для моделей **MA**, **ARMA**.

4. Проводимо аналіз отриманих результатів.

Приведемо результати моделювання лише для деяких показників діяльності ЗАТ «Укрпрофтур». Приклади характеристики найкращих моделей та прогнозів зроблених на їх основі для показників «всього обслужено туристів» наведені в таблицях 3-5.

Таблиця 3 - Характеристики моделей та їх прогнозів для показника «всього обслужено туристів (тис. людино-днів.)»

Всього обслужено туристів (тис. людино-днів)										
Тип моделі	Характеристика моделі				Характеристики прогнозу					
					динамічний			статичний		
	R^2	R^2_{adj}	$\sum e^2$	DW	$RMSE$	$MAPE$	$Theil$	$RMSE$	$MAPE$	$Theil$
AR(1,3,4,5)	0.999	0.996	15.496	2.694	1.835	0.078	0.0005	1.488	0.061	0.0004
ARMA(4;1,2,5)	0.992	0.94	356.11	1.989	21.75	0.928	0.0054	6.29	0.253	0.0016

Таблиця 4 - Характеристики моделей та їх прогнозів для показника «всього обслужено туристів (тис. чол.)»

Всього обслужено туристів (тис. чол.)										
Тип моделі	Характеристика моделі				Характеристики прогнозу					
					динамічний			статичний		
	R^2	R^2_{adj}	$\sum e^2$	DW	$RMSE$	$MAPE$	$Theil$	$RMSE$	$MAPE$	$Theil$
AR(1)	0.894	0.884	8177.0	2.078	28.528	4.004	0.022	26.104	3.438	0.02
MA(1,3,5,6)	0.952	0.928	7567.7	1.993	124.29	10.21	0.096	24.127	2.867	0.018
ARMA(1;1)	0.895	0.871	8149.7	1.960	28.452	4.004	0.022	26.060	3.434	0.02
ARMA(1;2)	0.930	0.904	5386.5	1.929	32.236	4.34	0.024	21.186	3.054	0.106

Таблиця 5 - Характеристики моделей та їх прогнозів для показника «екскурсантів (тис. чол.)»

Екскурсантів (тис. чол.)										
Тип моделі	Характеристика моделі				Характеристики прогнозу					
					динамічний			статичний		
	R^2	R^2_{adj}	$\sum e^2$	DW	$RMSE$	$MAPE$	$Theil$	$RMSE$	$MAPE$	$Theil$
AR(1,2,4,7)	0.997	0.987	0.471	2.282063	0.305	0.061	0.0004	0.280	0.056	0.0003
ARMA(3;2)	0.974	0.942	71.47	1.618172	15.30	3.192	0.0179	2.673	0.488	0.0031

Характеристики прогнозу для моделі AR(1,3,4,5): $RMSE = 1.487863$, $MAPE = 0.061349$ і $U = 0.000376$, тобто модель загалом придатна для прогнозування (коефіцієнт Тейла наближається до ідеального значення). Для екскурсантів (тис. чол. (eks)) найкращі характеристики моделі AR(1,2,4,7). Звідси можна записати таку модель:

$$eks(k) = 441,5231 - 0,274294eks(k-1) - 0,229425eks(k-2) + 0,203630eks(k-4) + 0,067174eks(k-7) + e(k)$$

де $e(k)$ - залишки (похибки моделі) значення яких можна знайти у відповідному файлі пакету програми EViews 6.

Для показника всього працівників найкращі характеристики моделі ARMA(3;1,3,5) з показниками адекватності: $R^2 = 0.999910$, $R^2_{adj} = 0.99973$, $DW = 2.283795$ та з характеристиками прогнозу для даної моделі: $RMSE = 6.424327$, $MAPE = 0.120592$ і $U = 0.000794$.

Аналогічна тенденція простежується і для показника середньомісячні доходи працівників (грн.), де найкращі характеристики показує модель ARMA(2;1,3,4) з показниками адекватності $R^2 = 0.999704$, $R^2_{adj} = 0.999407$ $DW = 2.296652$ та характеристиками прогнозу для даної моделі $RMSE = 7.340574$, $MAPE = 2.071828$ і $U = 0.005167$.

На основі даних моделей зроблені такі прогнози (табл. 6)

Таблиця 6 – Прогнозовані значення на основі моделей

Всього обслужено туристів (тис. чол.)				
Тип моделі	Прогноз на 1 крок 2009р.		Прогноз на 2 кроки 2010р.	
	дин.	стат.	дин.	стат.
AR(1)	598	610	597	

MA(1,3,5,6)	617	617	626	634
ARMA(1;1)	597	610	596	
ARMA(1;2)	589	591	587	
Всього обслужено туристів (тис. людино-днів)				
AR(1,3,4,5)	1922	1924	2000	
ARMA(4;1,2,5)	1935	1915	1942	
Екскурсантів (тис. чол.)				
AR(1,2,4,7)	416	416	412	416
ARMA(3;2)	426	424	426	426

Моделювання та прогнозування на основі економетричного підходу можна виконати в підсистемі «Економетричне моделювання» вказаної «Системи підтримки прийняття рішень для регіонального рівня в туризмі».

Висновки

Отже, на основі створеної комп'ютерної підсистеми «SWOT-аналіз», яка є однією із блоків спроектованої нами «Системи підтримки прийняття рішень для регіонального рівня в туризмі» досліджено фактори зовнішнього і внутрішнього середовища туристичного підприємства ЗАТ «Укрпрофтур», які використані як для побудови можливої стратегії розвитку, так і для ринкового аналізу та вивчення його конкурентоспроможності.

Використовуючи економетричне моделювання побудовано набір моделей для опису стану функціонування ЗАТ «Укрпрофтур» в 1996-2008 рр. та зроблено короткостроковий прогноз основних показників фінансово-господарської діяльності товариства на 2009-2010рр.

Список використаної літератури

1. Мескон Майкл Основы менеджмента: пер. с англ./ Майкл Мескон, Майкл Альберт, Франклин Хедоури; общ. ред. и вступ. ст. Л. И. Евенко; Акад. нар. хоз-ва, Высш. шк. междунар. бизнеса. – Москва: Дело, 1992. – 701с.
2. Попов В. Н. Системный анализ в менеджменте: учебное пособие/ В. Н. Попов, В. С. Касьянов, И. П. Савченко; под ред. д-ра экон. наук, проф. В. Н. Попова. – М.: КНОРУС, 2007. – 304с.
3. SWOT-аналіз – основа формування маркетингових стратегій: навч. посіб./ за ред. Л. В. Балабанової – 2-ге вид., вип. і доп. – К.: Знання, 2005. – 301с.
4. Фатхутдинов Р.А. Стратигический менеджмент/Р. А. Фатхутдинов: учебник. – 7-е изд., испр. и доп. – М.: Дело, 2005. – 448с.
5. Яремчук О. Я. Застосування методів системного аналізу при побудові системи підтримки прийняття рішень регіонального рівня в туризмі/ О. Я. Яремчук, О. В. Яворський// Системний аналіз та інформаційні технології: матеріали 12-ї Міжнародної науково-технічної конференції SAIT – 2010, Київ, 25-29 травня 2010 р./ ННК «ІНСА» НТУУ «КПІ». – К.: ННК «ІНСА» НТУУ «КПІ», 2010. – 544с. – Текст: укр., рос., англ. – ст. 187.
6. Яремчук О. Я. SWOT-аналіз як інструмент стратегічного менеджменту туристичної галузі/ О. Я. Яремчук //Гуманітарний вісник Державного вищого навчального закладу «Переяслав-Хмельницький державний педагогічний університет ім. Г. Сковороди»: Науково теоретичний збірник. – 2010. – с. 283-287.
7. Статистичний щорічник Основні показники фінансово-господарської діяльності ЗАТ «Укрпрофтур»/ Закрите акціонерне товариство по туризму та екскурсіях «Укрпрофтур». – Київ, 1996 – 2008.
8. Данилов В. Я. Сучасний підхід до моделювання в'їзних потоків в туризмі/ В. Я. Данилов, О. Я. Яремчук //Наукові праці Миколаївського державного гуманітарного університету ім. Петра Могили: Науково-методичний журнал. – Т. 106. – Випуск 93, 2009. – с. 47-53.

Відомості про авторів

О.Я. Яремчук, аспірантка Навчально-наукового комплекс «Інститут прикладного системного аналізу» НТУУ «КПІ» м. Київ, 03056 oljajaremchuk@rambler.ru

ІНФОРМАЦІЙНІ ТЕХНОЛОГІЇ

УДК 004.89+656.2

Т. О. САВЧУК, К. В. ЩЕПАНОВСЬКИЙ

Вінницький національний технічний університет, Вінниця

ЗАСТОСУВАННЯ АЛГОРИТМУ APRIORI ДЛЯ АНАЛІЗУ НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЙ НА ЗАЛІЗНИЧНОМУ ТРАНСПОРТІ

Анотація: В даній роботі проаналізовано проблеми, що виникають при застосуванні пошуку асоціативних правил для аналізу надзвичайних ситуацій на залізниці. Запропоновано модифікацію алгоритму Apriori, що базується на розділенні множини характеристик надзвичайної ситуації на дві підмножини, яка зменшує час роботи алгоритму.

Ключові слова: асоціативні правила, apriori, надзвичайні ситуації, пошук закономірностей

Вступ

При збільшенні об'ємів вантажоперевезень за допомогою залізничного транспорту виникає проблема ефективного аналізу причин виникнення надзвичайних ситуацій (НС). Тому важливою є розробка засобів, що орієнтовані на виявлення причин виникнення надзвичайних ситуацій на залізничному транспорті для зниження загрози їх появи в майбутньому. Використання новітніх інформаційних технологій надає можливість виконувати пошук закономірностей в інформації про наявні надзвичайні ситуації, що є особливо актуальним і передбачає знаходження інформації про сукупність характеристик, що підвищують ризик виникнення надзвичайних ситуацій.

Застосування методів пошуку асоціативних правил надає можливість знаходити приховані закономірності виникнення надзвичайних ситуацій, базуючись на інформації про надзвичайні ситуації, що вже відбулись. Такий підхід не потребує виконання складних аналітичних розрахунків. Необхідною є лише наявність формалізованої інформації про надзвичайні ситуації, які вже відбулись.

Актуальність

Однією із проблем при застосуванні алгоритмів пошуку асоціативних правил є їх обчислювальна складність. Дана задача є NP-повною [2], що виключає можливість розробки ефективних алгоритмів із поліноміальним часом роботи. Тому для зменшення часу роботи алгоритмів використовуються різного роду евристики. Відповідно, в задачі пошуку асоціативних правил для аналізу надзвичайних ситуацій можна виділити характеристики, що дозволяють збільшити ефективність алгоритму.

Мета

Об'єктом дослідження є процес формування логічних залежностей на основі формалізованих даних про надзвичайні ситуації на залізничному транспорті при перевезенні шкідливих та небезпечних вантажів у вигляді асоціативних правил. Предметом дослідження є алгоритми генерації асоціативних правил при аналізі надзвичайних ситуацій на залізничному транспорті. Метою дослідження є підвищення ефективності пошуку логічних залежностей в базах даних надзвичайних ситуацій на залізничному транспорті на основі розробки алгоритмів пошуку асоціативних правил з урахуванням властивостей існуючих алгоритмів при їх застосуванні для аналізу надзвичайних ситуацій на залізниці.

Постановка задачі

Для розробки алгоритму пошуку асоціативних правил для аналізу надзвичайних ситуацій на залізничному транспорті, приймемо такі позначення.

Нехай $I = \{i_1, i_2, \dots, i_n\}$ – множина всіх можливих характеристик надзвичайних ситуацій, що аналізуються, де i_j – j -а характеристика, $j = \overline{1, n}$, де n – потужність множини всіх можливих характеристик надзвичайних ситуацій. $D = \{d_1, d_2, \dots, d_m\}$ – множина транзакцій, яка піддається аналізу, де d_i – транзакція, яка є підмножиною $I (d_i \subseteq I)$ та описує окрему надзвичайну ситуацію на залізничному транспорті, $i = \overline{1, m}$, де m – потужність множини транзакцій [2].

Правило $X \Rightarrow Y$ справедливе з достовірністю $C = \text{conf}(X \Rightarrow Y)$ відсотку транзакцій з D (які містять X та Y), що можна визначити як

$$\text{conf}(X \Rightarrow Y) = \text{supp}(X \cup Y) / \text{supp}(X).$$

Тоді, задача пошуку асоціативних правил для аналізу надзвичайних ситуацій на залізничному транспорті полягає у знаходженні всіх асоціативних правил $X \Rightarrow Y$, де X та Y – набори характеристик з множини всіх можливих характеристик I , що мають задані користувачем коефіцієнти

підтримки S_0 та достовірності C_0 .

Розв'язання задачі

Розглянемо найбільш поширені алгоритми пошуку асоціативних правил (табл. 1).

Таблиця 1 – Порівняльна характеристика алгоритмів пошуку асоціативних правил

Назва алгоритму	Опис	Переваги	Недоліки
Apriori[2,3,4]	Алгоритм призначений для знаходження всіх частих наборів елементів множини транзакцій, що аналізується.	Проста структура, висока ефективність	Ускладнена реалізація алгоритму для роботи із базами транзакцій, що не поміщаються в оперативну пам'ять
Eclat [5]	Алгоритм побудований на основі пошуку в глибину використовуючи перетин наборів елементів для знаходження частих наборів елементів.	Висока швидкодія на малих об'ємах даних	Значне збільшення часу роботи при збільшенні потужності множини характеристик НС.
FP-growth [6]	Алгоритм використовує розширене префіксне дерево [7] для збереження бази даних у стислому вигляді. Він застосовує метод «розділяй і володарюй» для декомпозиції і видобутку знань із бази даних.	Не використовується процес генерації частих кандидатів, що є основою в алгоритмі Apriori.	Важко застосовувати оптимізації для використання з специфічними наборами даних.
OPUS[6]	Алгоритм, що на відміну від більшості альтернативних алгоритмів не потребує визначення ступіні мінімальної підтримки асоціативних правил.	Працює ефективніше, ніж алгоритм Apriori	Практична реалізація алгоритму для обробки великих об'ємів інформації ускладнена

Отже, враховуючи переваги та недоліки розглянутих алгоритмів пошуку асоціативних правил, як основу для аналізу та удосконалення обрано алгоритм Apriori.

Проте, при застосуванні пошуку асоціативних правил для аналізу надзвичайних ситуацій на залізниці виникають наступні проблеми:

1. Збільшення потужності множини всіх можливих характеристик НС I .
2. Збільшення часу необхідного для аналізу даних.
3. Низька інформативність отриманого результату.

Збільшення часу роботи алгоритму безпосередньо витікає із збільшення потужності множини всіх можливих характеристик I . Низька інформативність отриманих асоціативних правил пояснюється тим, що в результаті роботи алгоритму буде отримано велику кількість асоціативних правил, які не будуть містити причинно-наслідкових зв'язків.

Для вирішення означених проблем запропоновано модифікацію алгоритму Apriori: розбиття множини всіх можливих характеристик НС $I = \{I_S, I_D\}$ на дві підмножини:

1. I_S – характеристики, сукупність яких могла стати причиною виникнення НС.
2. I_D – характеристики, сукупність яких описує НС що виникла.

В результаті застосування такого підходу збільшується швидкість роботи алгоритму та ступінь інформативності отриманих асоціативних правил.

Вхідними даними для алгоритму Apriori при аналізі НС на залізниці є множина транзакцій D , що описує наявні в базі даних надзвичайні ситуації, заданий коефіцієнт підтримки для правил S' та коефіцієнт достовірності C' . Множина всіх можливих характеристик НС I подається разом із множиною транзакцій D , або обчислюється на її основі [3].

Робота алгоритму відбувається ітеративно. Множинами кандидатів вважаються множини характеристик НС, які формуються для подальшої генерації на їх основі асоціативних правил. На кожній ітерації відбувається генерація k -елементних множин кандидатів $C_k \in I$, $k = \overline{1, N}$, де N – потужність I . Для згенерованих наборів відбувається перевірка коефіцієнта підтримки $S = \text{supp}(C_k)$, і відсікаються ті набори, коефіцієнт підтримки для яких менше заданого коефіцієнта S' . Результатом є множина частих наборів L_k , де k – потужність множини L на поточній ітерації алгоритму, яка задовольняє поставленим вимогам. Після цього виконується процедура виведення частих наборів, яка на

основі L_k генерує асоціативне правило, приведене до вигляду $X \Rightarrow Y$. Якщо згенерована множина частих наборів L_k є пустою, алгоритм завершує свою роботу, оскільки при продовженні роботи всі наступні згенеровані множини кандидатів $C_k \in I$, $k = \overline{1, N}$ матимуть потужність k більшу ніж для поточної ітерації, і відповідно жоден набір гарантовано не пройде перевірку $\text{supp}(C_k) \geq S'$. Це ґрунтується на таких властивостях підтримки:

1. Ступінь підтримки будь-якої множини елементів не може перевищувати підтримку будь-якої її підмножини.
2. Для будь-якого набору L_k її підтримка буде менше, ніж підтримка наборів із множини L_{k-1} .

Означені умови підвищують швидкість алгоритмом роботи алгоритму до прийнятної для оперативної обробки рівня, не знижуючи при цьому точність отриманого результату [4]. Схема алгоритму Аргіогі наведена на рисунку 1.

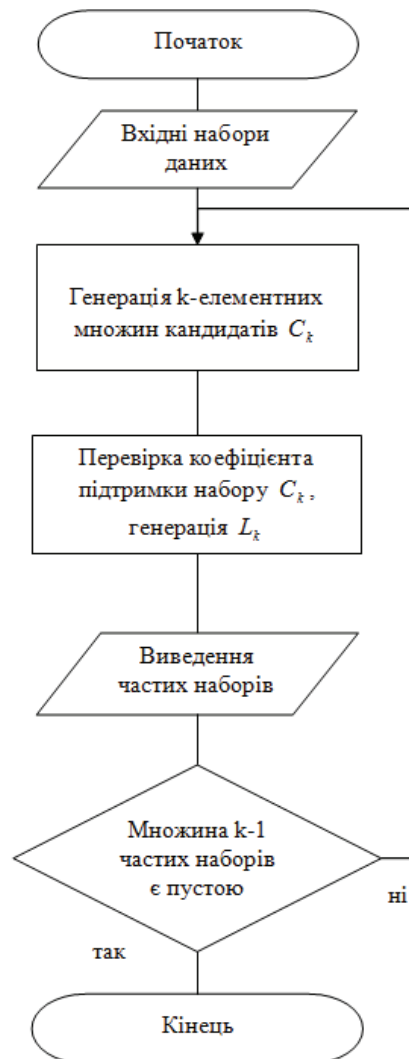


Рисунок 1 – Схема алгоритму Apriori

Актуальним залишається відсікання відомих або неінформативних результатів на етапі пошуку частих наборів кандидатів. Для цього в структуру алгоритму вводяться модифікації, пов'язані із особливостями представлення даних для опису надзвичайних ситуацій на залізничному транспорті. Можна ввести обмеження щодо параметрів та результатів роботи алгоритму, що дозволяє збільшити наглядність отриманого результату та зменшити час обробки даних. Для цього застосовується розбиття множини всіх можливих характеристик НС $I = \{I_S, I_D\}$ на дві підмножини, де I_S – сукупність

характеристик, що могли стати причинами виникнення НС, I_D – сукупність характеристик, що описують результат надзвичайної ситуації.

Асоціативні правила, що містять лише підмножину характеристик із множини I_S , не містять корисної інформації для виконання аналізу надзвичайних ситуацій на залізничному транспорті, завдяки чому можна прискорити алгоритм. Для цього необхідно змінити процес генерації наборів кандидатів C_k , в якому відсікати набори, що не містять характеристик із множини I_D . В результаті значно зменшиться кількість наборів кандидатів C_k , що генеруватиметься на кожній ітерації алгоритму, а також це впливатиме на генерацію частих наборів L_k . Час обробки множини наборів C_k та генерації L_k лінійно залежить від потужності даних множин і загальної потужності множини I , яка є сталою в процесі роботи алгоритму. Тому завдяки зменшенню кількості елементів множини C_k зменшиться загальний час роботи алгоритму. Схема модифікованого алгоритму Аргіогі для аналізу надзвичайних ситуацій на залізничному транспорті наведена на рисунку 2.

Для порівняння ефективності алгоритму Аргіогі та модифікованого нами алгоритму виконаємо оцінку кількості наборів характеристик НС, що генеруються алгоритмами. Час роботи алгоритму Аргіогі визначається числом наборів елементів (характеристик НС при аналізі НС на залізничному транспорті), що мають заданий рівень підтримки і на їх основі генеруються асоціативні правила (успішні набори: набір зустрічається щонайменше у k транзакціях), та числом наборів елементів що підраховуються але не використовуються (невдалі набори: всі підмножини набору зустрічаються щонайменше у k транзакціях, проте весь набір зустрічається менше ніж у k транзакціях). Кількість успішних наборів залежить лише від вхідних даних. Кількість невдалих наборів визначається як вхідними даними, так і алгоритмом.

Припустимо, що потужність найбільшого набору дорівнює l , а загальна кількість елементів - m , $m = |I|$. При цьому значення l можна вважати номером ітерації, оскільки на кожній ітерації l збільшується на одиницю. Нехай існує така ітерація l , що задовольняє двом вимогам:

1. На даній ітерації l виконано перевірки всіх наборів, і знайшлося вдалі набори
2. На ітерації $(l + 1)$ всі набори виявились невдалими

Відповідно до умови роботи алгоритму, після завершення даної ітерації відбувається завершення процедури генерації частих наборів. Оцінимо кількість наборів, що буде згенерована на ітерації l :

$$N_l = C_l^m$$

На ітерації $l + 1$ буде згенеровано така кількість наборів:

$$N_{l+1} = C_{l+1}^m.$$

Визначимо кількість згенерованих наборів елементів у найгіршому випадку, коли всі набори є успішними:

$$N = \sum_{i=1}^k C_i^m. \quad (1)$$

Однак дана оцінка не є точною, оскільки не враховуються евристики, що застосовуються в алгоритмі Аргіогі, і відповідно отримане значення буде значно перевищувати результат, отриманий за допомогою моделювання на реальних даних про НС на залізничному транспорті. Проте дану оцінку можна застосувати для порівняння базового алгоритму із наступними модифікованими версіями із застосуванням евристик.

Оцінимо кількість наборів елементів, які будуть згенеровані модифікованим алгоритмом Аргіогі. В загальному випадку зменшується як кількість успішних, так і кількість невдалих наборів – завдяки тому, що відсікаються набори-кандидати що не містять елементів із I_D . Кількість невдалих наборів також зменшується залежно від характеру вхідних даних. Слід зазначити, що зменшення кількості успішних наборів не впливає на кількість наборів, на основі яких генеруються інформативні асоціативні правила, оскільки відсікаються набори, на основі яких будуть згенеровані завідомо неінформативні асоціативні правила.

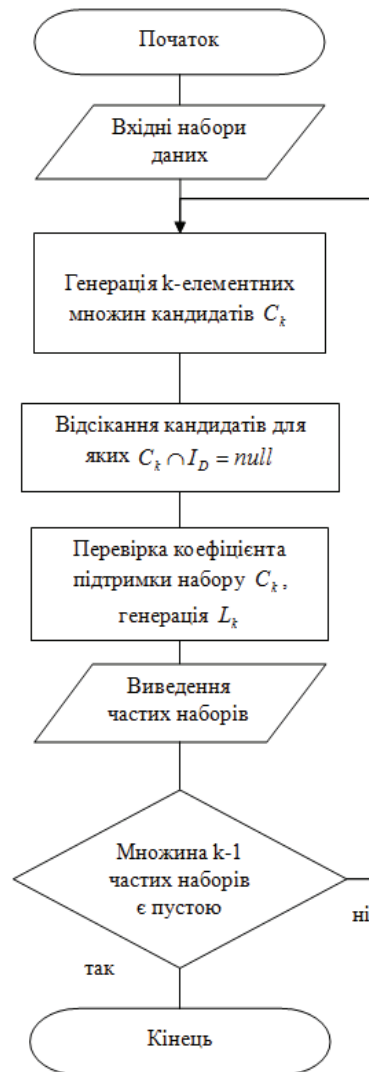


Рисунок 2 – Схема модифікованого алгоритму Аргіогі для аналізу надзвичайних ситуацій на залізниці

Введемо змінні $m_S = |I_S|$ та $m_D = |I_D|$. Нехай існує така ітерація l , що задовольняє таким вимогам:

1. На даній ітерації l виконано перевірки всіх наборів, і знайшлось вдалі набори C_l
2. На ітерації $l+1$ всі набори виявились невдалими
3. Існує $C_l \cap I_D \neq \varepsilon$
4. На ітерації $l+1$ не існує наборів $C_{l+1} \cap I_D \neq \varepsilon$

Відповідно до умови роботи алгоритму, після завершення даної ітерації відбувається завершення процедури генерації частих наборів. Оцінимо кількість наборів, що буде згенерована на ітерації l :

$$N_l = C_l^{m_S+m_D} - C_l^{m_S}$$

На ітерації $l+1$ буде згенеровано така кількість наборів:

$$N_{l+1} = C_l^{m_S+m_D} - C_l^{m_S}$$

Визначимо кількість згенерованих наборів елементів у найгіршому випадку, коли всі набори є успішними:

$$N = \sum_{i=1}^{m_S+m_D} C_i^{m_S+m_D} - \sum_{i=1}^{m_S+m_D} C_i^{m_S} \quad (2)$$

Використовуючи оцінки (1) та (2), можна коефіцієнт, в скільки разів збільшується швидкість

обробки даних при застосуванні модифікованого алгоритму Apriori в порівнянні із базовим алгоритмом:

$$K = \frac{\sum_{i=1}^{m_S+m_D} C_i^{m_S+m_D}}{\sum_{i=1}^{m_S+m_D} C_i^{m_S+m_D} - \sum_{i=1}^{m_S+m_D} C_i^{m_S}} \quad (3)$$

В результаті, в формулі (3) доведено збільшення швидкості роботи алгоритму пошуку асоціативних правил для аналізу надзвичайних ситуацій на залізниці у найгіршому випадку, оскільки знаменник формули гарантовано не може перевищувати значення чисельника. Відповідно, на будь-яких інших вхідних даних час їх обробки даних зменшиться.

Вивновки

Отже, при виконанні аналізу надзвичайних ситуацій на залізничному транспорті застосування пошуку асоціативних правил дає можливість виявляти сукупності характеристик, які підвищують ризик виникнення надзвичайної ситуації. При цьому виконується пошук частих наборів характеристик за допомогою модифікованого алгоритму Apriori, на основі яких будуються асоціативні правила, з якими в подальшому працюватиме аналітик. Щоб збільшити швидкість роботи алгоритму Apriori для аналізу надзвичайних ситуацій на залізничному транспорті використано особливості подання інформації про надзвичайні ситуації, а саме введено евристику яка дозволяє зменшити кількість обчислень та збільшити інформативність знайдених асоціативних правил. Також показано, що завдяки введеним модифікаціям зростає швидкість роботи базового алгоритму пошуку асоціативних правил.

Список використаної літератури

1. Аветисян В.Г., Сенчихін Ю.М., Кулаков С.В., Куліш Ю.О., Тригуб В.В. Організація аварійно-рятувальних робіт – навч. посіб. для студ. вузів III–IV рівнів акр. за напр. підг. «Пожежна безпека» – Харків, Університет цивільного захисту України, 2006.
2. Purdom P. W., Gucht D. V., Groth D. P. Average case performance of the apriori algorithm – SIAM Journal on Computing, 33(5):1223–1260, 2004.
3. Барсегян А. А., Купріянов М. С., Степаненко В. В., Холод І. І. Методи і моделі аналізу даних: OLAP і DATA MINING – БХВ-Петербург, 2004.-336 с.
4. Agrawal R., Imielinski T., Swami A. Mining Association Rules Between Sets of Items in Large Databases // SIGMOD Conference 1993: 207-216
5. Mohammed J. Zaki. Scalable algorithms for association mining – IEEE Transactions on Knowledge and Data Engineering, 12(3):372-390, May/June 2000.
6. Brin S., Rajeev Motwani, Ullman J., Tsur S.. Dynamic itemset counting and implication rules for market basket data // SIGMOD Conference 1997, Proceedings ACM SIGMOD International Conference on Management of Data, pages 255-264, Tucson, Arizona, USA, May 1997.
7. Кормен Т., Лейзерсон Ч., Ривест Р., Штайн К. Алгоритмы: построение и анализ, 2-е изд. : Пер с англ. – М. : Издательский дом «Вильямс», 2009. – 1296с.

Відомості про авторів

Савчук Тамара Олександрівна – к.т.н., професор, Вінницький національний технічний університет, Хмельницьке шосе, 95, м. Вінниця, 21021, e-mail: savchtam@vstu.vinnica.ua

Щепановський Костянтин Валентинович – магістр кафедри комп'ютерних наук, Вінницький національний технічний університет, Хмельницьке шосе, 95, м. Вінниця, 21021, email: kostya.vntu@gmail.com.

ІНФОРМАЦІЙНІ ТЕХНОЛОГІЇ

UDK 004.056

RASIM MAHAMMAD OGLU ALGULIEV, IRADA YAVAR KIZI ALAKBAROVA

Institute of Information Technologies of ANAS

COMPARATIVE ANALYSIS OF INFORMATION ATTACKS IN INTERNET

Аннотация: В статье перечислены средства информационного оружия, осуществлены анализ и классификация информационных атак. Также рассмотрены самые распространенные информационно-сетевые атаки, такие как CSS атака, "расщепление" HTTP-запроса, SQL инъекция, утечка информации и т.д. А также осуществлен сравнительный анализ уязвимостей веб-приложений.

Ключевые слова: информационные атаки, информационное оружие, логические атаки, DoS атака, подделка DNS, внутренняя атака, CSS атака, SQL инъекция, утечка информации, SSI инъекция, веб-приложение.

Abstract: The article describes the tools of information weapons, the analysis and classification of information attacks are conducted. Also, most common information network attacks such as Cross-site Scripting, HTTP Response Splitting, SQL Injection, Information Leakage and others are examined, comparative analysis of vulnerabilities of Web Applications is carried out.

Key words: information attacks, information weapons, logical attacks, denial of service attack, DNS spoofing, insider attack, CSS attacks, SQL injections, information leakage, SSI injection, web-application.

Introduction

Currently, information warfare, conducted using computer networks, as well as global computer network Internet are gaining a critical character. At the moment, information warfare can be defined as a purposeful activity from any party towards state governmental body, masses of people or a single person using information technologies and resources [1].

Information warfare – is a war conducted for the purpose of seizure of primary, energetic, human resources of one country using highest levels (ideological, chronological, and methodological) of common facilities of society control [2]. Information warfare is a natural result of development of worldwide scientific-technical mind and improvement of computer and information technologies create prerequisites for development and application of information weapons. Possession of effective information weapon and protection means from it, are becoming one of the main conditions of provision of homeland security of the government in XXI century [3].

Information warfare is directed to obtaining capital and power. A necessity of protection of national informational resources and preservation of confidentiality of informational exchange at World Wide Web occurs, because of possible emergence of political and economical confrontations of governments, new crisis' in international relations on this basis [4]. Thus, informational security, information warfare and information weapon are currently in the center of the spotlight.

Relevance

The world is undergoing global changes at the moment: technologies revolution related to development of information technologies and telecommunications, creation of new markets, financial revolutions carried out through globalization of capital flows and savings management. Under these new terms, the society has become more vulnerable – as on governmental level, as well as on the level of individual enterprises, for which informational risk has become number one risk.

Necessity of research of given topic is caused by the fact that currently intergovernmental, international conflicts are increasingly carried out in information sphere, mainly in Internet. Diversity of information weapon and information attacks, specifics of occurrence and application has generated complex protection tasks from them.

Objective

Objective of the article is general analysis and classification of information attacks on Internet, as well as statistical analysis of vulnerabilities of web-applications.

Tasks

The main of the article is:

1. analysis and classification of information attacks based on their impact characteristics;
2. analysis of detected vulnerabilities of web-applications. Comparison of vulnerabilities of web-applications during four years.

Only vulnerabilities of web-applications are considered in conducted statistics. Such widespread deficiencies such as absence of relevant refreshments of OC security and erroneous setting of Web-server are not taken into consideration.

Information Weapons

Currently, information warfare is carried out in several forms. Information warfare in Internet is spread from network security breaches, financial fraud, intervention in personal life and theft of personal data till virus infection and spam distribution.

Information warfare is carried out using special means called information weapons. Information weapons – is a composite of program and technical means, intended to control the information resources of the target object and intervention into operation of its information systems [5]. Information weapon is distinguished from warfare weapon by low expenses and high application effectiveness. It doesn't destroy the opponent, development of complex structures and particularly trained specialist are not required for it, and there's not necessity to cross the borders [6].

Following means are called information weapons:

- limitation of access to information of legal users;
- highly-precise determination of location of equipment radiating in electromagnetic spectrum and its fire damage;
- overcoming of security systems;
- impact on components of radio electronic equipment;
- means of impact on program resources of electronic control modules;
- destruction or deterioration of information systems, theft of information masses;
- Attack with an objective of disorganization of operation of computer systems, technical means.
- Effect on information transfer process;
- Propaganda and disinformation;
- Psychotropic weapon.

Information weapon gives the maximum effect only when it's applied on the most vulnerable parts of the information systems. Systems that are most sensitive to input information – decision making, control systems have the highest informational vulnerability.

Classification of information attacks

Actions with application of information weapons are called information attacks. During information attacks, means which allow carrying out planned actions [7] with transferred, processed, created, destroyed and perceived information are used as information weapons. The main objective of any classification of information attack consists of proposal of such classification factors, which allow accurate description classified occurrences or objects.

Information attacks of remote character can be classified by their impact objective [8]:

- Violation of privacy of information or resources of the system
- Violation of information integrity;
- Violation of system accessibility.

This classification feature is the direct projection of three main types of threats: disclosure, integrity and service denial.

The main objective of practically any attack – is to obtain unauthorized access to information. There are two principal possibilities of access to information: interception and distortion. Possibility of interception means gaining access to it, but impossibility of its modification. Consequently, interception of information leads to violation of its confidentiality. Possibility of distortion of information means either full control of information flow among system objects, or possibility of transfer of messages on behalf of another object. Thus, obviously, distortion of information leads to violation of its integrity. Another principally different objective of an attack is obtaining of unauthorized access to information by the attacker.

Another objective of an attack is violation of accessibility of the system. In this case, the attacker is not supposed to obtain unauthorized access to information. His main objective is – to achieve that access to the resources of the attacked target would be impossible.

Based on abovementioned, it is obvious, that information-network attacks can be classified by their impact characteristics: passive, active, conditional-passive (pic1).

Servers and workstations are main components of any information network. The task of the server is storage of information and provision of access to information and some kinds of services. Consequently, all possible objectives of information attacks can be classified as following:

- Obtaining access to information
- Obtaining unauthorized access to services
- Attempt of making a defined class of services inoperable
- Attempt of changing information or services, as an auxiliary stage of a larger attack.

Information- network attacks in Internet environment

«Internet Security Threat Report» report of Symantec Company demonstrates that, up to 70 percent of vulnerabilities used by intruders fall on web-applications.

Wide-spread vulnerabilities of web-applications are divided in six classes:

1. Authentication.
2. Authorization.
3. Client-side Attacks.
4. Command Execution.
5. Information Disclosure.
6. Logical Attacks.

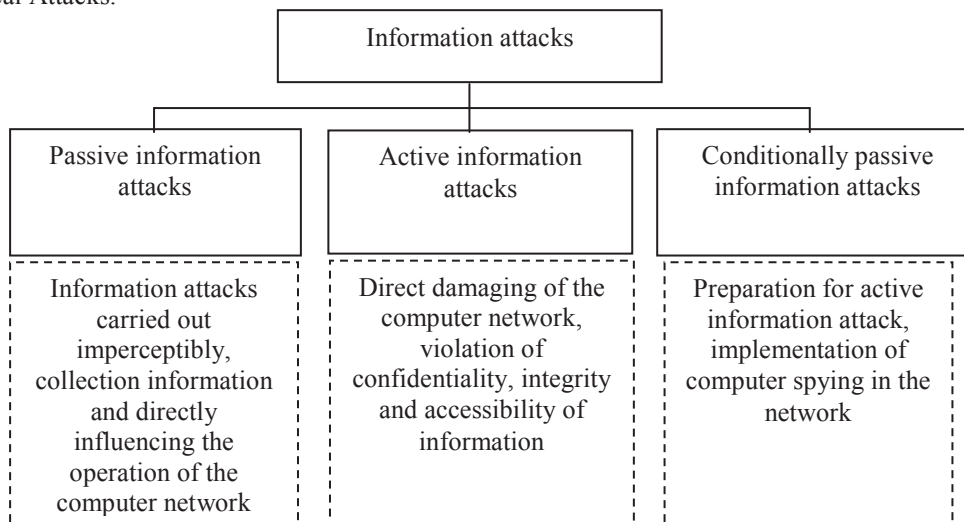


Fig. 1. Classification of information attacked by their impact characteristics

There are several varieties of attacks in each class. Information-network attacks are as diverse, as the systems against which they are directed. Some attacks are distinguished by complexity. Others can be carried out by an ordinary operator, without even presuming what subsequences his actions might have. For evaluation of attack types it is necessary to know some limitations, initially inherent to TCP/IP protocol.

Different information-network attacks are used for these purposes. These include:

- DoS attack (Denial of Service Attack) – Denial of service attack, sending the server a large number of requests, artificially created by the attacking party, as well as sending a large number of TCP-, UDP- or UMP-packages, incorrectly fragmented UMP-packages etc. Typical examples of DoS attacks – automatic blocking of unsuccessful registration attempts, especially when mechanism of automatic unblocking mechanism is not supported.
- DNS spoofing – spoofing of identifiers of computer network, replacement of DNS replies with fake ones.
- Insider attack – attack from within the protected network,
- IP spacing/hijacking, session stealing – attacking the access channel,
- IP spoofing – spoofing of approved external and internal IP-addresses of the system,
- (Brute-force attack – attack on ciphertext or electronic digital signature, using direct search of all possible cipher key options.
- CSS attack (Cross-Site Scripting, XSS) – attacks during which a foreign code is intruded into loaded web page. Specifics, of the given attacks consist of that fact that, instead of direct attack of the server, they use a vulnerable server as a mean of attack on the client.
- SQL Injection – attack used to exploit web-sites, forming SQL requests from the user input data flow.
- Content Spoofing – attack for deception of confidence of the user that the certain content presented on the web-site is authentic, is not derived from an external source.
- Information Leakage – different types of information leakage. Attacks of given class are directed at obtaining additional information on web-application. Location of temporary files or reserve copies can be contained in the leaked information.
- HTTP Response Splitting- It can be used for implementation of intersite attacks.
- XPath injection – attack for exploitation of web-sites, creating XPath requests from the user input data flow,
- SSI Injection) – attack allowing the intruder to send a code in web-application, which will be executed by the web-server locally.
- etc.

Analysis of the attacks and vulnerabilities of web-applications

Simplicity of HTTP protocol allows developing effective methods of automatic analysis of web-applications and detection of their vulnerabilities. This allows the attacker to detect a large number of vulnerable web-sites, in order to execute an attack on them. Possibility of using web-applications as an attack platform to work stations makes these applications an attractive target for intruders. During preparation of an attack on information infrastructure of the company, the intruder researches its web-application at first instance.

Positive Technologies Company, during the process of evaluation of network safety in 2007, 2008, 2009 yrs obtained statistical data on vulnerability of web-applications. Main direction of company operation – is protection of computer networks from unauthorized access. Data was based on results of automated scanning of hosts of public hosting-provider and manual analysis of safety of web-applications [8].

Detected vulnerabilities were classified in accordance with Web Application Security Consortium Web Security Threat Classification (WASC WSTCv2). Criticality of vulnerability was evaluated in accordance with CVSSv2 (Common Vulnerability Scoring System version 2) with further mapping to risk levels of PCI DSS (Payment Card Industry Data Security Standard) information security standard.

Statistics demonstrated that, during last four years, (Cross-Site Scripting, XSS) is the most wide-spread vulnerability class. This average level of risk can be used for execution of an arbitrary code in the browser of the clients on script language (for example JavaScript) for the purpose of theft of identification data, replacement of screen content, execution of "phishing" type attacks etc. Given error was detected in all analyzed applications. Analysis demonstrated that practically three-quarters of all sites contain a similar error [9].

In 2009, SQL Injection was the second most popular vulnerability class. Using given vulnerability, intruders obtain capability to read and modify information in the data base used by the web-application. In some cases, exploitation of SQL Injection can be resulted in obtaining full control on the server. Therefore, vulnerability of given type is classified as high level risk.

Predictable Resource Location was the third popular vulnerability class. Underestimation of the risk, available from Internet, which can affect the vulnerability of web-applications, is possibly the main reason of the low level of security of their majority.

Analysis of vulnerabilities of web-applications in 2009 demonstrated that practically half of analyzed systems contained vulnerabilities. As a result of conduction of 6239 automatic scans and detailed analysis of 77 web-applications, data on 5560 web-applications was collected in statistics. In total, 13434 errors of different risk levels were detected in all applications, 1412 samples of malicious code contained on the pages of vulnerable systems were recorded. The ratio of compromised sites distributing malicious software comprised 1,7%. Each of such sites contained vulnerabilities allowing execution of commands on the server, which confirms possibility of use of these vulnerabilities for discredit of the system (tab.1).

Information Leakage class attack, which was one of the most dangerous and frequently detected attacks in 2006, 2007, 2008 years, was replaced by SQL Injection in 2009 (pic. 2). Different vulnerabilities, leading to leakage of important information from the server pertain to information leakage. Inaccurate access limitation to web-resources, storage of confidential data in publicly-accessible, but "hidden" folders, reserve copies of scripts are typical examples of such errors.

As demonstrated in the analysis of attacks and based on the experience of Positive Technologies company in conduction of tests in entry and audit of information security – vulnerability in web-applications are of the most wide-spread deficiencies of network security provision.

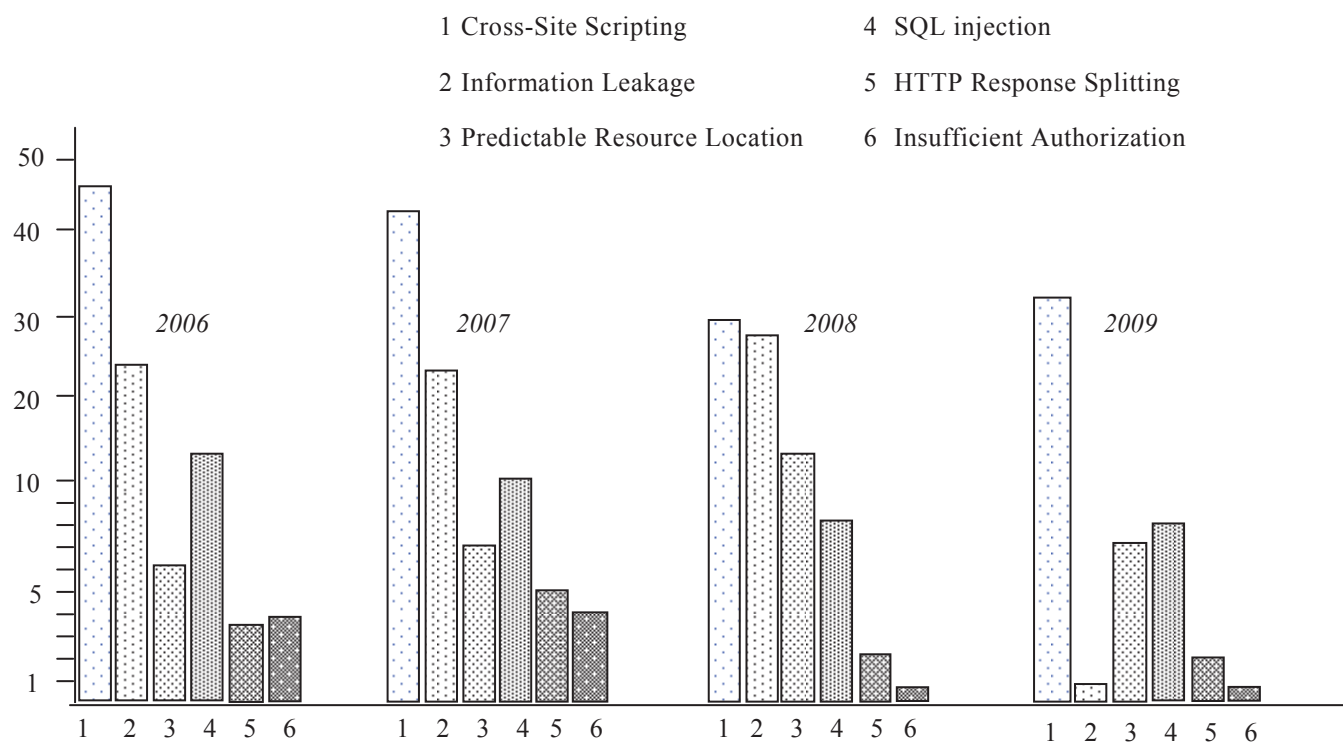
Following conclusions can be made based on comparative data analysis:

- Cross-site Scripting, different types of Information leakage, SQL Injection, HTTP Response Splitting are the most wide-spread vulnerabilities during last 4 years;
- In accordance with results of the researches, situation with security level in web-applications has improved in the year of 2009 in comparison with previous four years;
- In comparison with 2006 and 2007 years, number of sites containing widespread vulnerabilities as Injection and Cross-site Scripting has reduced, however number of sites containing different types of information leakage has increased;
- In comparison with 2006, 2007 and 2008 years, number of sites containing different types of information leakage has reduced in several times in 2009;
- The number of new attacks to be researched has increased in 2009.

Possibility of detection of critical error in web-application by an automatic scanner consists of 35% and reaches 80% at detailed expert analysis. This fact demonstrates low level security of modern web-applications not only from attacks from qualified intruders, but also from actions of attackers armed with ready-made utilities for "automatic hacking".

Table 1. Statistics of vulnerabilities of web-applications in years.

№	Vulnerabilities class	% Vulnerabilities 2006	% Vulnerabilities 2007	% Vulnerabilities 2008	% Vulnerabilities 2009
1	Cross-Site Scripting	44,8	43,4	30,1	33,6
2	Information Leakage	21,2	21	29,8	0,6
3	Predictable Resource Location	5,4	6,9	11,8	7,0
4	SQL injection	10,1	9,8	7,95	7,7
5	HTTP Response Splitting	3,5	3,9	0,8	1,5
6	Insufficient Authorization	3,3	2,7	0,02	0,01
7	Directory Indexing	3	2,7	0,01	0,01
8	Insufficient Anti-automation	1,6	1,8	5	6,4
9	Path Traversal	1,4	1,5	3	0,3
10	Insufficient Authentication	1,1	1,0	1,0	1,0
11	Insufficient Process Validation	1,1	1,0	1,0	1,0
12	Bruteforce	0,8	1,7	0,01	0,01
13	SSI Injection	0,3	1,0	0,4	0,6
14	other	0,18	1,6	9,11	40,27



Picture.2. Comparison of vulnerabilities of web-applications in four years

Conducting analysis of elimination of detected vulnerabilities in 2009, based on the scanning results of 2008, it was detected that total percent of elimination of all detected vulnerabilities comprise approximately 20% (pic. 3)

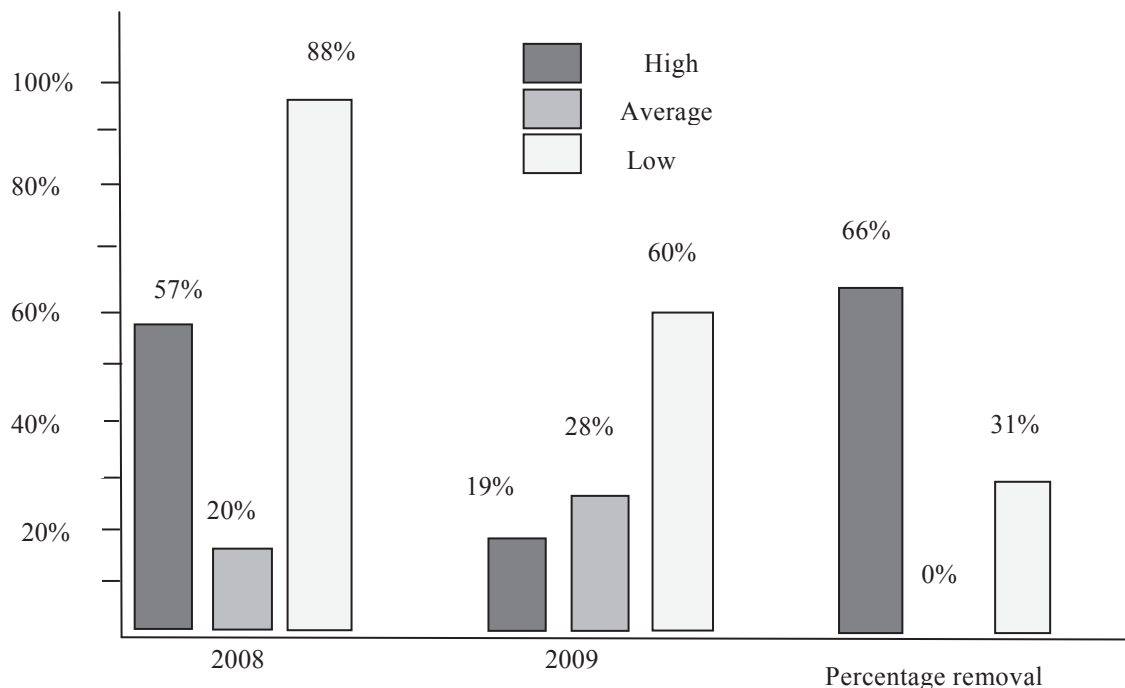


Fig.3. Sites with different risk level vulnerabilities (in percents).

Conclusion

As actually all network levels contain vulnerabilities, malicious hackers have an abundance of possibilities for carrying out different attacks. Without development of relevant security, any part of any network can become vulnerable to attacks or other unauthorized actions. Reading this article, one may fall under impression that global network has been affected by an incurable epidemic, which sooner or later will lead to total consequences. In reality, that is not the case. As demand creates supply, threat causes response security reaction. During the last years, information security industry has developed several sufficiently effective technologies of struggle with different types of information attacks.

However, necessary information security can be achieved only in society with high scientific-technical and industrial potential, and sufficient cultural-educational level of different layers of populations of different countries. We must also note that, only most developed and relevantly prepared countries in information technologies and telecommunications field can enter global information space.

Analysis and classification of information attacks create a possibility for selection of effective means for provision of information security and execution of relevant reaction to the intruders in Internet environment, as well as in general information exchange network.

Generally, regular analysis of web-application security and tuned process of elimination of detected deficiencies allow reducing the number of vulnerable sites in average in three times during a year.

Literature

1. Павлютенкова М. Ю., Информационная война: реальная угроза или современный миф? // "Власть", М., 2001, стр.19-23
2. Libicki M., What is Information Warfare? // National Defense University. ACIS, 1995, pp. 3
3. Dorothy Denning, Information Warfare and Security // Addison-Wesley, 1999, pp. 9-19
4. Colonel Alan D., Douglas H., Cyberwar 3.0: Human Factors in Information Operations and Future Conflict (Hardcover) // Afcea Intl. Pr., 2000, pp. 309
5. Прокофьев В.Ф., Тайное оружие информационной войны: Атака на подсознание // - М: СИНТЕГ, 2003, 408 с.
6. Szafranski R. A Theory of information warfare. Preparing for 2020 // Airpower Journal, Spring 1995
7. Медведовский И.Д., Семьянов П.В., Платонов В.В. Атака через Internet // НПО "Мир и семья-95", 1997 г., 250 с.
8. Гриняев С.Н., Интеллектуальное противодействие информационному оружию, М. СИНТЕГ, 1999, 232 с.

9. Статистика уязвимостей веб-приложений за 2008 год // <http://www.securitylab.ru/analytics/386759.php>.
10. Статистика уязвимостей веб-приложений за 2009 год // <http://www.securitylab.ru/analytics/394205.php>

About the Authors

Rasim Mahammad oglu Alguliev, doctor of Technical sciences, Professor, Corresponding member of ANAS, Institute of Information Technologies of ANAS, str. F.Agaev 9, Baku, Azerbaijan, Az1141, E-mail: director@iit.ab.az , rasim@science.az

Alakbarova Irada yavar kizi, Sector Chief of the institute, Institute of Information Technologies of ANAS, str. F.Agaev 9, Baku, Azerbaijan, Az1141, E-mail: depart17@iit.ab.az, airada.09@gmail.com

ІНФОРМАЦІЙНІ ТЕХНОЛОГІЇ

УДК 621.372.542

В.П. МАЙДАНЮК, В. І. МЕСЮРА, А. О. СТАХОВ

Вінницький національний технічний університет, Вінниця

КОДУВАННЯ РУХОМИХ ЗОБРАЖЕНЬ НА ОСНОВІ ФОРМУВАННЯ ПРОСТОРОВИХ ЧАСТОТНИХ КОМПОНЕНТ

Анотація: Розглянуто кодування зображень на основі адаптивного до контурів двовимірного аналізу і синтезу, зокрема, застосування його до кодування відео зображень. *Запропоновано відновлення відліків низькочастотних компонент методами інтерполяції і контурного передбачення, що призводить до збільшення візуальної якості зображення при тій же "детальності", а також схему детектора руху, що забезпечує можливість передачі високочастотної складової відео зображення методом чергування.*

Ключові слова: Відео, детектор руху, зображення, лінійна інтерполяція, кодування, контур, передбачення.

Вступ

З появою стандарту MPEG [1-2] для кодування відео в тіні залишились інші методи кодування. До MPEG виконувались інтенсивні дослідження цифрових методів передачі відео зображень, які однак не знайшли широкого застосування, оскільки були витіснені цим стандартом, незважаючи на його недоліки. Зокрема, стандарт MPEG вимагає доволі потужних обчислювальних засобів невідповідних якості відновленого зображення.

З цієї точки зору заслуговує на увагу метод кодування зображень, відомий під назвою «адаптивний до контурів двовимірний аналіз і синтез зображень». Цей метод раніше інтенсивно досліджувався для застосування в системах цифрового телебачення [3-5]. Його особливістю є формування декількох низькочастотних та високочастотних сигналів, які несуть інформацію про деталі зображення різних розмірів, що відкриває широкі можливості маніпулювання ними при передачі відео. Зокрема, з'являються можливості застосування міжкадрової інтерполяції та детектування руху, передачі відліків високочастотних компонент з чергуванням і т.п., що може значно знизити цифрові потоки при передачі відео.

Актуальність

Цифрові потоки і якість відновленого зображення при адаптивному до контурів аналізі і синтезі в значній мірі залежать від точності формування низькочастотних компонент зображень та точності детектування руху.

Проте існуючі підходи, які ґрунтуються на лінійних методах формування відліків низькочастотних компонент, не враховують особливостей сприйняття зображення людиною і обмежують можливості методу. Тому розгляд цих питань є актуальним.

Мета

Метою статті є вдосконалення методів формування низькочастотних компонент зображення та детектування руху при адаптивному до контурів двовимірному аналізі і синтезі.

Задачі

Відповідно до мети досліджень формулюються такі задачі:

- 1) Аналіз методу формування низькочастотних компонент зображення та його вдосконалення.
- 2) Розробка схеми детектування руху.

Модель адаптивного до контурів двовимірного аналізу і синтезу зображень

У техніці телебачення звичайний процес перетворення сигналу полягає в почерговій, циклічно повторюваній передачі відліків яскравості окремих елементів зображення. При цьому аналіз зображення здійснюється однією апертурою, що має позитивну функцію прозорості, симетричну відносно осі апертури. Така апертура утворює двовимірний низькочастотний фільтр, так званої, просторової частоти.

Збільшення розмірів апертури приводить до зникнення деталей, розміри яких менше ефективного діаметру апертури, і відповідно, до збільшення нерізкості, що еквівалентно скороченню смуги пропускання двовимірного фільтра. Ефективний діаметр апертури визначає кількість елементів зображення і розмір одного елемента.

У даному способі аналізу та синтезу відео зображення враховується розмір деталей у двох вимірах, що дозволяє шляхом більш повного врахування особливостей зорового сприйняття підвищити економічність відео систем, передавати відео повідомлення по каналах з зменшеною пропускну здатністю без помітного погіршення якості, спростити процеси запису і відтворення відео сигналу. Передане повідомлення, тобто відео зображення $V(x,y)$, піддається одночасному впливу кількох, які відрізняються один від одного аналізуючих апертур, які можуть мати як ділянки з "позитивною прозорістю", так і ділянки з "негативною прозорістю". Сукупність таких апертур дозволяє виділити на

різних виходах аналізатора сигнали, які несуть інформацію про деталі різної величини, а разом з тим, звичайно і про відповідні градації контурних обрисів переходів при передачі контрастних кордонів.

З точки зору двовимірного перетворення Фур'є сукупність зазначених апертур становить групу двовимірних фільтрів так званої просторової частоти. Розмір елемента зображення, отриманого після синтезу, визначається апертурою, яка дорівнює сумі функцій розподілу окремих апертур. Найбільша апертура має позитивну прозорість і являє собою двовимірний фільтр низької частоти. Сигнал, який створюється цією апертурою, дозволяє побудувати зображення, відповідне дефокусованому вихідному зображенню. При цьому число ефективно помітних елементів зображення зменшується пропорційно квадрату ефективного діаметру апертури. Апертури, що володіють ділянками позитивної та негативної прозорості можна розглядати як результат віднімання двох апертур з різними ефективними діаметрами, з суміщеними осями і з рівними "обсягами функції розподілу". З точки зору двовимірного перетворення Фур'є такі апертури представляє собою деякий двовимірний смуговий фільтр просторової частоти, межами смуги пропускання якого є характеристики двовимірних фільтрів низької частоти, що утворили даний смуговий фільтр.

Для досягнення необхідної точності аналізу та синтезу необхідно забезпечити правильне примикання смуг пропускання двовимірних фільтрів. Іншими словами, верхня межа смуги пропускання одного фільтра повинна з достатньою точністю відповідати нижній межі смуги пропускання сусіднього фільтра. При цьому функції розподілу апертур, що здійснюють аналіз вихідного зображення, у сумі утворюють апертуру, функції розподілу і ефективний діаметр якої були задані при виборі стандарту чіткості відео системи. Чіткість синтезованого зображення при виконанні умови правильного примикання відповідає чіткості, яку забезпечує звичайний спосіб аналізу та синтезу зображення однієї апертурою з таким же ефективним діаметром.

З огляду на те, що аналіз зображення ведеться одночасно декількома апертурами, що виконують функції двовимірних фільтрів, вихідне зображення створює одночасно кілька сигналів, що несуть інформацію про деталі різної величини, причому при поділі інформації розміри деталей враховані у двох вимірах. Це дозволяє більш правильно вибрати необхідну точність відтворення шляхом більш повного використання особливостей зорового сприйняття. При обробці зазначених сигналів передбачається не тільки відомий прийом квантування окремих сигналів на різне число рівнів, що використовує особливості контрастної чутливості, але також використання інерційності зору шляхом застосування квантування з змінними за часом порогоми квантування. Цей прийом дозволяє при заданому числі рівнів квантування поліпшити якість, зменшивши вплив шуму квантування або при заданій якості зменшити кількість рівнів квантування і скоротити обсяг відео сигналу.

Процес розкладання на двовимірні компоненти можна представити таким чином. Нехай $\Phi_1, \Phi_2, \dots, \Phi_n$ низькочастотні компоненти, отримані низькочастотною фільтрацією вихідного зображення. Причому, смуга частот $W_1 > W_2 > \dots > W_n$. Тоді процес розкладання на компоненти можна представити наступним виразом:

$$\tilde{\Phi} = \Phi_n + (\Phi_{n-1} - \Phi_n) + (\Phi_{n-2} - \Phi_{n-1}) + \dots + (\Phi_1 - \Phi_2) + (\Phi_0 - \Phi_1). \quad (1)$$

Розкривши дужки, одержимо

$$\tilde{\Phi} = \Phi_0$$

Тобто не враховуючи спотворень, які вносяться апаратурою, таке розкладання дозволяє однозначно відновити вихідний сигнал. Процес кодування полягає в дискретизації кожної компоненти відповідно до теореми Котельникова і квантуванні на число рівнів відповідне особливостям сприйняття даної смуги частот зоровим аналізатором людини. В лінію зв'язку передаються відліки компоненти Φ_n і відліки різницевих компонент [4].

Лінійна інтерполяція і контурне передбачення при двовимірному аналізі і синтезі

Особливістю адаптивного до контурів двовимірного аналізу і синтезу зображень є формування декількох сигналів, кожен з яких відповідає зображенню зі збільшеною нерізкістю з подальшим квантуванням на різне число рівнів попарних різниць цих компонент. Від точності формування відліків низькочастотних компонент залежить якість відновленого зображення і коефіцієнт стиснення.

Найбільш економічним з точки зору технічних витрат є формування згладжених компонент за рахунок зниження частоти дискретизації у кожній наступній компоненті в два рази. Це аналогічно обчисленню середнього значення в межах апертур, що примикають одна до одної з розмірами кратними 2^n . У результаті такої операції формується поле рідких відліків. Природно припустити, що у випадку

лінійного згладжування вихідного зображення пропущені відліки необхідно також відновлювати лінійними інтерполяційними методами. Однак, застосування лінійних інтерполяційних методів не дозволяє точно відновлювати контурні переходи на зображенні.

Одним із способів підвищення ефективності кодування при двовимірному аналізі і синтезі є застосування контурного передбачення при відновленні відліків низькочастотних компонент. Дійсно основна інформація про зображення може бути отримана з аналізу контурів цього зображення. Тому було б логічно використовувати цю властивість при кодуванні (ущільненні) зображень.

Суть цього методу полягає в наступному. На ділянках зображення з плавною зміною яскравості проміжні відліки відновлюються лінійною інтерполяцією, а на ділянках зображення з різкою зміною яскравості - передбаченням по контуру. До контуру повторюють попереднє значення яскравості, а після контуру наступне. Це дозволяє більш точно відновити контурні переходи низькочастотних компонент, що сприяє зменшенню числа розрядів різницевого сигналу.

Це добре ілюструє рис. 1, на прикладі одновимірного сигналу, де a - це початковий сигнал, b - відновлений інтерполяцією по опорних відліках, а c - відновлений з застосуванням як інтерполяції на плавних ділянках, так і контурного передбачення на ділянках зі стрибкоподібним зміною значень яскравості.

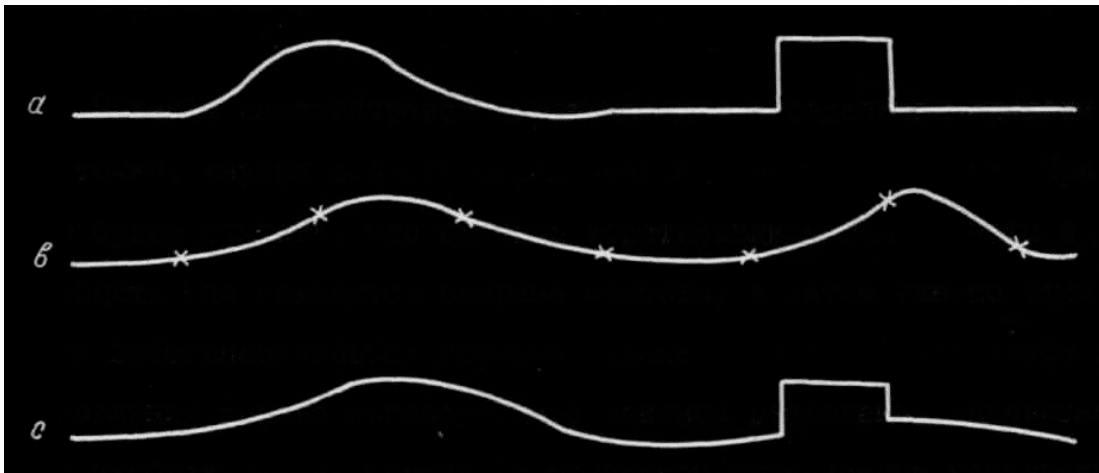


Рисунок 1 – Відновлення сигналу інтерполяцією і передбаченням по контуру

Нескладно побачити, що при відновленні сигналу тільки лінійними інтерполяційними методами (рис. 1) прямокутний імпульс перетворюється на трикутний, а при відновленні методами контурного передбачення форма сигналу зберігається. Спектральна щільність прямокутного імпульсу визначається так [12]:

$$S_1(\omega) = At_u \left[\frac{\sin \omega t_u / 2}{\omega t_u / 2} \right] \quad (2)$$

А спектральна щільність трикутного імпульсу така [12]:

$$S_1(\omega) = \frac{At_u}{2} \left[\frac{\sin \omega t_u / 4}{\omega t_u / 4} \right]^2 \quad (3)$$

Звідки видно, що спектральна щільність прямокутного імпульсу зменшується пропорційно $1/\omega$, а трикутного - пропорційно $1/\omega^2$. Тобто при лінійній інтерполяції придушуються високочастотні складові сигналу, що стосовно до зображення призводить до "розмивання" контурів. А це в свою чергу, до зменшення візуальної чіткості зображення. Тому на ділянках зображення з плавною зміною яскравості пропущені відліки відновлюються лінійною інтерполяцією, а на ділянках зображення з різкою зміною яскравості – передбаченням по контуру.

Позначимо опорні відліки (середні значення яскравості в групах $N \times M$), як $X(0,0)$, $X(0,1)$, $X(1,0)$, $X(1,1)$ (рис. 2). Тоді на ділянках з плавною зміною яскравості для відновлення пропущених відліків необхідно підсумувати крайні елементи апертури кожен зі своєю вагою в залежності від координати точки в просторі зображення.

Для обчислення шуканого відліку при лінійній одновимірній інтерполяції використовуються тільки два послідовних відліки вхідної послідовності $X(n)$, причому значення інтерпольовані між двома відліками $X(0)$, $X(1)$, лежать на прямій лінії, що сполучає два вхідних відліки. Таким чином, співвідношення, що зв'язує вихідний сигнал інтерполятора і вхідну послідовність $X(n)$ для одновимірного випадку має такий вигляд (вздовж осі X , "0" рядок):

$$Y(0, n_2) = X(0,0) + \frac{X(0,1) - X(0,0)}{M} n_2 = \frac{(M - n_2)X(0,0) + n_2 X(0,1)}{M}, \quad (4)$$

$$0 \leq n_2 \leq M$$

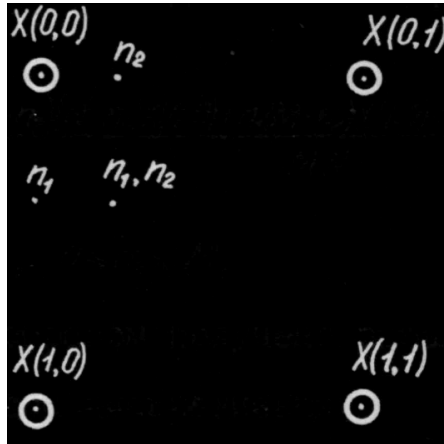


Рисунок 2 – Розташування опорних відліків в просторі

Так само може бути визначена будь-яка точка і в напрямку осі y :

$$Y(n_1, 0) = X(0,0) + \frac{X(1,0) - X(0,0)}{N} n_1 = \frac{(N - n_1)X(0,0) + n_1 X(1,0)}{N}, \quad (5)$$

$$0 \leq n_1 \leq N$$

Фільтр-інтерполятор залишає незмінним спектральні складові сигналу з частотами менше π / M в напрямку X і π / N в напрямку Y і подавляє спектральні складові з великими частотами.

Тому у разі наявності контуру між опорними відліками до контуру потрібно повторити попередній опорний відлік, а після контуру - наступний. Наприклад, для 0-рядки попереднього прикладу це можна записати наступним чином:

$$Y(0, n_2) = \begin{cases} X(0,0) & \text{— до контура} \\ X(0,1) & \text{— після контура} \end{cases} \quad (6)$$

У загальному випадку відновлену низькочастотну компоненту можна представити як результат обробки дискретизованого низькочастотного сигналу оператором лінійної інтерполяції і оператором передбачення:

$$Y = AX + BX \quad (7)$$

Причому A визначений на неперервних ділянках зображення і є оператором лінійної інтерполяції, а B - оператор контурного передбачення і визначений на ділянках зображення із стрибкоподібним зміною яскравості зображення.

Таким чином, застосування інтерполяції і контурного передбачення дозволяє, з одного боку усунути "помилкові" контури на ділянках зображення з плавною зміною яскравості, а з іншого боку - відновлює крутизну перехідної характеристики в місцях наявності контуру, що призводить до збільшення візуальної якості зображення при тій же "детальності".

Детектування руху та передача високочастотної складової зображення

Присутність в послідовності відео кадрів рухомих об'єктів, викликає міжкадрові зміни яскравості, якими можна скористатися для виявлення руху і оцінки параметрів руху. Безпосереднє віднімання двох послідовних кадрів початкового зображення не може служити оцінкою наявності чи відсутності руху, так як при цьому виділяються шуми, які можуть давати помилкові ознаки руху, до того ж, необхідна велика пам'ять на кадр.

Але ситуація істотно змінюється, якщо беруться міжкадрові різниці відліків низькочастотної компоненти, наприклад компоненти H_3 , яка визначена середніми значеннями в межах примикаючих один до одного фрагментів зображення з розмірами 8×8 , або компоненти H_2 (у разі відсутності компоненти H_3), яка визначається середніми значеннями по фрагментах 4×4 . По-перше, за рахунок усереднення рівень шуму тут значно знижений, а по-друге, для організації кадрової пам'яті потрібно набагато менше витрат обладнання (об'єм пам'яті в 64 (16) рази менше). Таким чином наявність в переданому сигналі низькочастотних компонент дозволяє без значних додаткових апаратних витрат реалізувати детектор руху, що забезпечує можливість передачі високочастотної складової відео зображення методом чергування. Тобто в кожному кадрі передається лише частина відліків високочастотної компоненти. Наприклад, 1-й кадр – непарні рядки, непарні відліки; 2-й кадр – парні рядки, парні відліки; 3-й кадр – непарні рядки, парні відліки; 4-й кадр – парні рядки, непарні відліки.

На приймальній стороні на нерухомих ділянках відтворюється повна роздільна здатність за рахунок накопичення в кадровому запам'ятовуючому пристрої відліків попередніх кадрів високочастотної складової, а на рухомих ділянках високочастотна складова виключається з процесу синтезу зображення, але візуальна якість відео зображення не зменшується, оскільки роздільна здатність зорового аналізатора людини також зменшується при спостереженні рухомих об'єктів.

Структурна схема детектора руху наведена на рис. 3, де L_k – затримка на кадр зображення, P – пороговий пристрій, X_k – значення відліків низькочастотної компоненти поточного кадру, W_k, W_{k-1} – проміжні вихідні сигнали рекурсивного фільтра, Y_k – вихідний різницевий сигнал, M – сигнал руху.

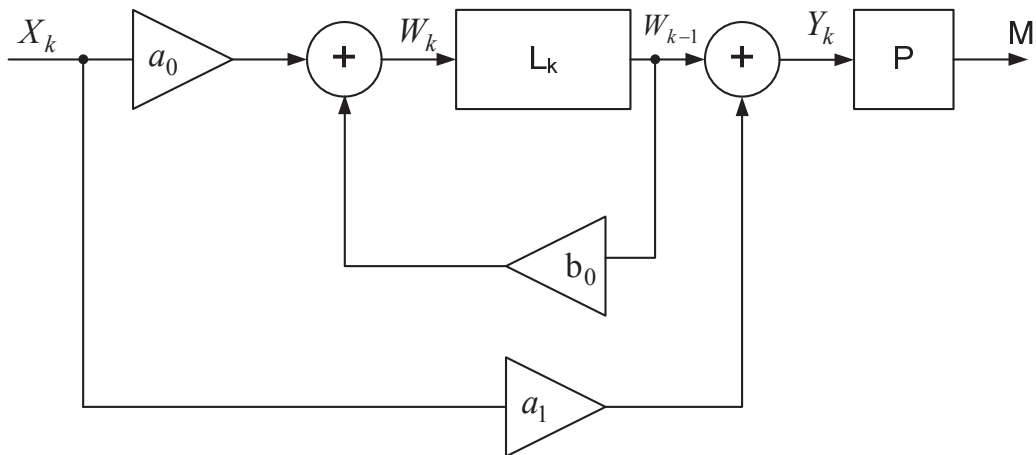


Рисунок 3 – Структурна схема детектора руху

Визначимо перехідну характеристику цього пристрою. Різницеві рівняння для проміжного виходу W_k та різницевого сигналу Y_k визначаються наступними виразами:

$$\begin{aligned} W_k &= X_k a_0 + W_{k-1} b_0 \\ Y_k &= X_k a_1 + W_{k-1} \end{aligned} \quad (8)$$

Виконавши Z – перетворення рівнянь 8, знаходимо:

$$\begin{aligned} W(Z) &= X(Z) a_0 + W(Z) Z^{-1} b_0 \\ Y(Z) &= X(Z) a_1 + W(Z) Z^{-1}. \end{aligned} \quad (9)$$

Звідки

$$Y(Z) = a_1 X(Z) + \frac{X(Z)a_0 Z^{-1}}{1 - b_0 Z^{-1}}. \quad (10)$$

Для визначення реакції пристрою на одиничну функцію у вираз (10) замість $X(Z)$ підставимо значення

$$X(Z) = \frac{1}{1 - Z^{-1}},$$

яке є Z -перетворенням одиничної функції

$$X(t) = \begin{cases} 1, & t \geq 0, \\ 0, & t < 0. \end{cases}$$

Тоді

$$Y(Z) = \frac{a_1}{1 - Z^{-1}} + \frac{a_0}{1 - b_0} \left(\frac{1}{1 - Z^{-1}} - \frac{1}{1 - b_0 Z^{-1}} \right). \quad (11)$$

Взявши зворотне Z -перетворення від виразу (11), отримаємо:

$$Y(k) = \frac{a_1(1 - b_0) + a_0(1 - b_0^k)}{1 - b_0}. \quad (12)$$

Даний вираз визначає перехідну характеристику детектора руху, k – номер кадру, $k=0$ – поточний кадр. Нехай $a_1 = -1$, $a_0 = b_0 = 1/2$, тоді неважко визначити, що така перехідна характеристика забезпечить ознаку руху на протязі 4-х кадрів, що відповідає глибині чергування високочастотної компоненти. Це необхідно для виключення високочастотної складової з процесу синтезу зображення на приймальній стороні після виникнення руху до повної її зміни.

Висновки

1. Стандарт MPEG вимагає доволі потужних обчислювальних засобів невідповідних якості відновленого зображення, тому потрібні інші методи ущільнення зображень з втратами, які характеризувались би меншими обчислювальними затратами.

2. Серед таких методів заслуговує на увагу метод кодування зображень, відомий під назвою «адаптивний до контурів двовимірний аналіз і синтез зображень». Його особливістю є формування декількох низькочастотних та високочастотних сигналів, які несуть інформацію про деталі зображення різних розмірів, що відкриває широкі можливості маніпулювання ними при передачі відео. Зокрема, з'являються можливості застосування міжкадрової інтерполяції та детектування руху, передачі відліків високочастотних компонент з чергуванням і т.п., що може значно знизити цифрові потоки при передачі відео.

3. Одним із способів підвищення ефективності кодування при двовимірному аналізі і синтезі є застосування інтерполяції і контурного передбачення при відновленні відліків низькочастотних компонент, що відновлює крутизну перехідної характеристики в місцях наявності контуру і призводить до збільшення візуальної якості зображення при тій же "детальності".

4. Наявність в переданому сигналі низькочастотних компонент дозволяє без значних додаткових апаратних витрат реалізувати детектор руху, що забезпечує можливість передачі високочастотної складової відео зображення методом чергування.

Список використаної літератури

- 1.Международный стандарт MPEG (ISO/IEC 14496).
- 2.Гонсалес Р., Вудс Р. Цифровая обработка изображений.- М.: Техносфера, 2005. – 1072 с.
- 3.Брауде-Золотарем Ю.М. Исследование возможностей сокращения объема телевизионного сигнала за счет использования свойств зрения: Автореф. дис. канд.тех. наук. – М., 1960. – 15 с.
- 4.Майданюк В.П. Разработка алгоритмов и аппаратных средств систем сжатия телевизионных изображений: Автореф. канд.тех. наук. – Винница, 1993. – 22 с.

5. Кожем'яко В. П., Майданюк В. П., Теренчук А. Т., Хіллес Шаді Мазін. Адаптивний до контурів двовимірний аналіз і синтез // Міжнародний науково-технічний журнал «Оптико-електронні інформаційно-енергетичні технології, 2002. - № 4. - С. 120-127.

Відомості про авторів

Майданюк Володимир Павлович – к. т. н., доцент кафедри програмного забезпечення; Хмельницьке шосе, 95, м. Вінниця, 21021; тел. 0965636971; e-mail: maydan2000@mail.ru, Вінницький національний технічний університет;

Месюра Володимир Іванович – к. т. н., професор кафедри інтелектуальних систем; Хмельницьке шосе, 95, м. Вінниця, 21021; тел. +0972647731; e-mail: vimes2009@yandex.ru, Вінницький національний технічний університет.

Стахов Артем Олександрович – магістр кафедри програмного забезпечення; Хмельницьке шосе, 95, м. Вінниця, 21021. Вінницький національний технічний університет.

ПРИЛАДИ І МЕТОДИ КОНТРОЛЮ ТА ВИЗНАЧЕННЯ СКЛАДУ РЕЧОВИНИ

УДК 616. 07:519.248(045)

Е. Т. ВОЛОДАРСКИЙ, Л. А. КОШЕВАЯ, Н. А. РЕКОВЕЦ

Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут», Київ

ВНУТРИЛАБОРАТОРНЫЙ КОНТРОЛЬ КАЧЕСТВА. СОВРЕМЕННЫЕ ПОДХОДЫ

Анотация: Розглянуто сучасні підходи проведення внутрішньолабораторного контролю якості лабораторних випробувань, який складається з оперативного контролю та контролю стабільності результатів у часі. При оперативному контролі перевіряються показники повторюваності і проміжної прецизійності, перебування яких в межах критичного діапазону свідчить про підтримку умов проведення випробувань на належному рівні. При проведенні контролю стабільності можливе вироблення попереджувальних критеріїв, спрямованих на завчасне виявлення розлагодженості випробувального процесу.

Ключові слова: Випробування, умови випробувань, контроль якості, повторюваність, проміжна прецизійність, критичний діапазон.

Аннотация: Рассмотрены современные подходы проведения внутрилабораторного контроля качества лабораторных испытаний, который включает в себя оперативный контроль и контроль стабильности результатов во времени. При оперативном контроле проверяются показатели повторяемости и промежуточной прецизионности, нахождение которых в пределах критического диапазона свидетельствует о поддержании условий проведения испытаний на должном уровне. При проведении контроля стабильности возможна выработка предупредительных критериев, направленных на раннее выявление разлаженности испытательного процесса.

Ключевые слова: Испытания, условия испытаний, контроль качества, повторяемость, промежуточная прецизионность, критический диапазон.

Введение

В настоящее время развиваются интеграционные процессы в экономике, на рынке одновременно присутствуют интересы производителя и потребителя, что выдвигает повышенные требования к качеству продукции, проверка которого осуществляется в испытательных, в том числе сертификационных лабораториях.

Лаборатории в соответствии с [1] должны быть способны оценить качество своих результатов, сопоставить их с ожиданиями заказчика, создать условия для обеспечения их сопоставимости и взаимного признания независимо от места и времени проведения испытаний, а также выработать комплекс мер по достижению и поддержанию их качества испытаний на требуемом уровне.

Постановка проблемы

Взаимное признание результатов испытаний может основываться только на объективной оценке и достоверности подтверждения технической компетентности лабораторий. При этом в первую очередь должно проводиться достоверное оценивание качества испытания самой лабораторией, то есть должен осуществляться внутренний контроль, при котором контролируются условия проведения испытаний, что обеспечивает приемлемость их результатов.

Цель

Показать современные подходы в осуществлении различных видов внутрилабораторного контроля качества, обеспечивающие достижение и поддержание качества испытаний на требуемом уровне.

Основная часть

Внутрилабораторный контроль как элемент системы обеспечения единства результатов испытаний. Внутренний контроль качества (ВКК) результатов испытаний проводится для подтверждения стабильной работы лаборатории и служит для оценки лабораторной составляющей погрешности. Оценка качества испытаний в лаборатории при реализации стандартной методики должна выполняться на основе показателей качества этой методики, полученных в результате проведения межлабораторного совместного эксперимента.

Знание правильности и прецизионности методики испытаний позволяет оценивать и контролировать лабораторные смещение и повторяемость результатов, а также типичные для лаборатории показатели промежуточной прецизионности в течение длительного периода времени.

Традиционно считалось, что если испытания выполнялись в соответствии с методикой, работа лаборатории считалась удовлетворительной, и результатам испытаний приписывалась погрешность, указанная в методике, независимо от реальных метрологических характеристик результата, полученного в данной лаборатории.

В настоящее время необходимость оценивать и контролировать правильность и прецизионность выполняемых измерений не только на верхнем и нижнем (для прецизионности – воспроизводимости и повторяемости), но и на промежуточных уровнях влекут пересмотр методологии контроля.

Так, меняются алгоритмы оценивания составляющих смещения результата: признается возможность появления достоверных смещений, свойственных конкретной лаборатории, а не только методике.

Внутрилабораторный контроль можно рассматривать как элемент системы обеспечения единства результатов испытаний (рис.1), при котором осуществляется как предупредительный (предварительный) контроль, так и контроль приемлемости результатов.

Предупредительный контроль направлен на предотвращение выдачи недостоверных результатов и носит, как правило, организационный характер. При этом проводится проверка, как например, при химическом анализе:

- своевременности проведения калибровки (поверки) средств измерительной техники;
- соблюдения правил хранения и сроков годности стандартных образцов;
- соблюдения условий и сроков хранения реактивов, материалов, растворов;
- контроля стабильности градуировочной характеристики;
- соблюдения условий и правил отбора проб, их доставки и хранения и т.п.

Систематически проводимый предварительный внутренний контроль обеспечивает выполнение всех необходимых мероприятий и правил, заложенных в «Руководстве по качеству», носит, как правило, организационный характер и подробное рассмотрение его не является целью данной статьи.



Рисунок 1 – Внутрилабораторный контроль как элемент системы обеспечения результатов испытаний

Контроль приемлемости полученных лабораторией результатов может осуществляться, как правило, в двух видах: оперативный и статистический контроль.

Результаты внутреннего статистического контроля свидетельствуют о качестве процесса испытания за некоторый промежуток времени. Анализ этих результатов позволяет вводить корректирующие действия при выявлении разлаженности процесса. Однако с точки зрения заказчика (потребителя) может сложиться такая ситуация, что он получит некачественную продукцию, т.к. при внутреннем статистическом контроле оценка состояния процесса испытаний вырабатывается через некоторое время после испытания, когда результаты уже переданы заказчику. Для предотвращения такой ситуации необходимо осуществлять оперативный контроль, который заключается в проверке расхождения полученных результатов в отношении допустимых норм непосредственно при проведении эксперимента.

Для применения процедуры оценивания приемлемости результатов необходимо проведение, по меньшей мере, двух наблюдений с последующим статистическим анализом полученного результата по отношению к установленному в методике значению повторяемости, и принятие решения о возможности его дальнейшего использования. В качестве меры возможного расхождения между полученными в лаборатории значениями при условии влияния только случайных величин, используется критический диапазон CD , в который с выбранной вероятностью в предположении нормальности генерального распределения попадут n результатов из этой совокупности [2]. Эта мера связана с ранее установленным

и нормированным значением СКО повторяемости σ_r , в основу расчета которой положена дисперсия разности n независимых величин с предполагаемым одинаковым законом распределения.

При проверке приемлемости результатов считается, если расхождение по абсолютному значению не превышает соответствующий критический диапазон, то результаты измерений получены в условиях повторяемости, являются приемлемыми, и за конечный результат принимается их среднее значение. Если абсолютное значение расхождения результатов превышает критический диапазон, т.е. условия приемлемости не выполняются, то все результаты, которые привели к такому расхождению, должны быть проанализированы для принятия соответствующего решения: или они должны быть изъяты, или испытание необходимо повторить или дополнить.

Таким образом, решить вопрос приемлемости результатов позволяют найденные для каждого конкретного случая границы CD , которых не должны превышать полученные результаты с некоторой вероятностью (чаще всего 0,95).

Оперативный контроль проводится как для проверки условий повторяемости, так и промежуточных условий.

Оперативный контроль в условиях повторяемости заключается в проверке расхождения двух или больше результатов, получаемых в лаборатории в условиях повторяемости, относительно допустимых норм непосредственно при проведении эксперимента. При этом разница $|y_{\min} - y_{\max}|$ сравнивается с критическим диапазоном для n наблюдений

$$CD_{0,95} = f(n)\sigma_r,$$

где $f(n)$ – коэффициент критического диапазона, который представляет собой 95% - квантиль распределения $|y_{\min} - y_{\max}|/\sigma_r$ для выборки из n значений нормального распределения величин со стандартным отклонением σ_r .

При $n = 2$

$$CD_{0,95} = 1,96\sqrt{2\sigma_r^2} = 2,8\sigma_r.$$

Оперативный контроль в условиях промежуточной прецизионности. Оперативный контроль является эффективным средством установления приемлемости результатов, когда испытания проводятся и в условиях промежуточной прецизионности, т.е. при изменяющихся факторах, например «день» и/или «оператор».

Определение приемлемости результатов в этом случае осуществляется путем оценивания допустимости расхождения средних значений \bar{y}_1 и \bar{y}_2 , полученных в двух группах испытаний в условиях промежуточной прецизионности на основании результатов наблюдений n_1 и n_2 соответственно. При этом необходимо установить меру возможного расхождения между средними значениями, обусловленную лишь влиянием случайных величин и ограниченными объемами выборок n_1 и n_2 .

Критический диапазон для оценивания приемлемости результатов в этом случае определяется следующим образом:

$$CD_{\bar{y}_1 - \bar{y}_2} = 2,8\sigma_{I(\cdot)}\sqrt{\frac{1}{2n_1} + \frac{1}{2n_2}}$$

или при $n_1 = n_2$

$$CD_{0,95} = 2,8\sigma_{I(\cdot)}/\sqrt{n},$$

где $\sigma_{I(\cdot)}$ – СКО промежуточной прецизионности результатов, полученных например, разными операторами или при разных сменах работы.

Если разность между средними значениями двух групп наблюдений не превышает значения $CD_{\bar{y}_1 - \bar{y}_2}$, то процесс проведения испытаний находится в пределах норм.

В случае получения неприемлемых результатов осуществляются корректирующие действия по наладке испытательного процесса.

Контроль стабильности результатов. Для лаборатории важно оценить качество результатов испытаний на протяжении продолжительного времени. Контроль стабильности результатов проводят с целью подтверждения лабораторией компетентности в обеспечении качества испытаний и оценки ее деятельности в целом. Основой накопления статистических данных, т.е. базой для контроля стабильности результатов испытаний во времени являются результаты, полученные при оперативном контроле.

Поскольку процедура контроля охватывает довольно продолжительный период времени, то может иметь место смена оператора, замена оборудования или его перекалибровка, а само время проведения является косвенным влияющим фактором, который может привести к невыполнению условий повторяемости, поэтому при контроле стабильности следует также проверять и соблюдение условий промежуточной прецизионности.

При оценке стабильности результатов испытаний необходимо оценивать как их прецизионность, так и правильность и поддерживать эти показатели на требуемых уровнях в течение длительного периода времени.

Основой контроля стабильности результатов являются контрольные карты [3,4], которые представляют собой графический способ отображения и контроля показателей точности результатов испытаний, широко используемые и испытанные практикой статистического контроля качества технологических процессов. Контрольные карты дают возможность наглядно и оперативно оценивать состояние испытательного процесса, облегчают анализ и интерпретацию результатов.

Контроль стабильности результатов проводится на основе серии контрольных процедур. Количество наблюдений при этом целесообразно устанавливать, исходя из соотношения скорости возможных изменений статистических характеристик результатов измерений (дрейфов) и общей погрешности испытаний таким образом, чтобы этими изменениями можно было бы сознательно пренебречь.

Контрольные карты применяются для определения отличий наблюдаемых значений для нескольких подгрупп из n наблюдений от соответствующих стандартных значений, например μ , на значение большее, чем можно ожидать при действии только случайных величин. В основе контрольных карт лежит идея Шухарта о разделении наблюдений на подгруппы, внутри которых допускаются вариации, обусловленные только случайными причинами, в то время как различие между этими подгруппами могут быть обусловлены особыми причинами, которые и должны выявить контрольные карты. Для контроля правильности лабораторией могут быть использованы контрольные образцы с «принятым опорным значением» только в случае стабильности их характеристик во времени. Если параметры (характеристики) объекта испытаний являются нестабильными во времени, то лаборатория может ограничиться контролем характеристики случайной погрешности.

Использование контрольных карт по их традиционному назначению позволяет оценить качество работы испытательной лаборатории на протяжении продолжительного периода времени. Однако, как показал анализ, существует возможность, контролируя ход испытательного процесса по контрольным картам, выработать ряд критериев, которые позволяют выявить тенденции разлаженности процесса испытания, не дожидаясь выхода параметров за допустимые пределы.

Формирование предупредительных критериев. Обычно для выявления разлаженности процесса испытаний, обусловленного внутрилабораторным смещением, оценивают по \bar{X} - карте отклонения текущих средних от генерального среднего, вычисленного на основании наблюдений за длительный период.

При построении контрольной карты предполагается, что изменение \bar{X} в процессе мониторинга правильности лабораторных результатов обусловлено влиянием случайных факторов, и выход значений за пределы $\pm 3\sigma$ является маловероятным событием, что является свидетельством наличия систематического воздействия, приводящего к разлаженности процесса испытаний. Такому событию соответствует вероятность 0,003 [4]. Данную ситуацию можно отнести к «критическому» признаку, который свидетельствует о нарушении условий проведения испытаний.

На рис.2 отображена вероятность попадания результатов в зоны А ($\pm 3\sigma$), В ($\pm 2\sigma$), С ($\pm \sigma$), характеризующая взаимосвязь между σ и количеством наблюдений n .

Признаком влияния только случайных величин является попадание результатов средних значений подгрупп во все допустимые зоны А, В и С карты Шухарта, а проявлением систематического воздействия является нахождение последовательности определенного количества точек на карте в одной из зон или области, включающей только определенные зоны, хотя при этом и имеет место проявление случайности. Это предположение и положено в основу рассматриваемого подхода, позволяющего теоретически обосновать тенденцию разлаженности процесса испытаний в лаборатории. Исходя из практического опыта в [3,4] рекомендуется обратить внимание на «...любую необычную структуру точек, которая может указывать на проявление особых (неслучайных) причин».

Таким образом, некоторая последовательность точек на контрольной карте, которые находятся в пределах предупреждения или действия, вероятность появления которых будет меньше 0,003, можно рассматривать как проявление совместного влияния случайных и систематических причин.

Именно это свойство может быть положено в основу создания ряда правил предупредительных критериев, позволяющих корректировать процедуру испытания в лаборатории, не дожидаясь, когда процесс разладится, и результаты будут попадать за контрольные пределы. При этом при выполнении условий повторяемости принимаются следующие допущения.

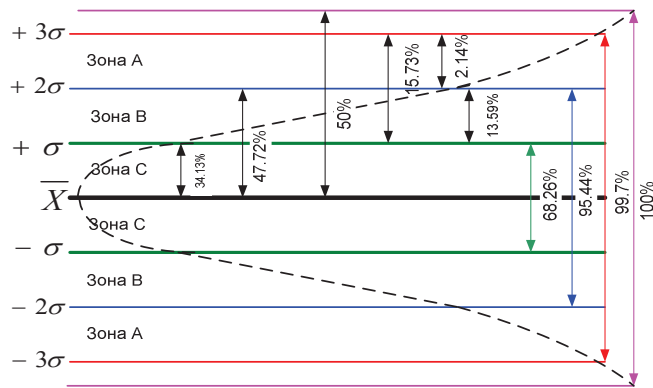


Рисунок 2 - Контрольная карта с учетом правила 3-х сигм

1. Процесс находится в нормальном состоянии (центральная линия проведена через значение, равное среднему контролируемой характеристики генеральной совокупности параметра исследуемого объекта).

2. Значения следующих друг за другом выборок независимы (т.е. отсутствует автокорреляция).

3. Выборочные значения контролируемой характеристики распределены по нормальному закону.

Исходным является определение вероятности попадания нормально распределенной случайной величины в зоны А, В, С (рис.2) в соответствии с правилом умножения вероятностей независимых событий

$$P(A_1 A_2 \dots A_s) = P\left(\prod_{i=1}^s A_i\right) = \prod_{i=1}^s P(A_i) \quad (1)$$

В результате проведенного анализа установлены критерии, в соответствии с которыми может быть найдена вероятность появления нескольких независимых следующих друг за другом значений в той или иной области контрольной карты, что может свидетельствовать о тенденции разлаженности лабораторного процесса. Например, если исходить из того, что средние значения последовательных подгрупп – независимые случайные величины, что в действительности имеет место при испытании, то вероятность попадания результата для любой подгруппы выше или ниже центральной линии в любую из зон А, В, С равна 0,5 (рис.2). Вероятность того, что два следующих друг за другом выборочных значения окажутся выше центральной линии, будет равна $0,5 \times 0,5 = 0,25$. Остается выяснить, какому минимальному количеству последовательных результатов, расположенных подряд с одной стороны центральной линии контрольной карты, соответствует вероятность 0,003, т.е. вероятность того, что отдельное выборочное значение не попадет в интервал, ограниченный контрольными пределами в 3σ . Оказывается, что этому условию будет отвечать последовательность из девяти точек. Данная ситуация отражена на графике, представленном на рис.3. Вероятность того, что выборочные средние девяти последующих выборок (или серия из 9 точек контрольной карты) окажется с одной стороны от центральной линии, с учетом уравнения (1), составит 0.00195.

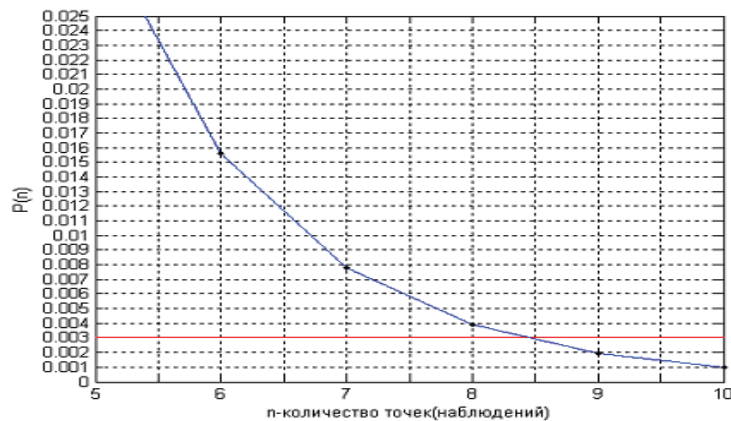


Рисунок 3 - Вероятность, что n точек подряд будут находиться по одну сторону от \bar{X} (в зонах А, В, С)

Если этот критерий выполняется (т.е. если на контрольной карте обнаружено такое расположение точек), то делается вывод о возможном изменении среднего значения процесса в целом.

Именно это свойство может быть положено в основу создания ряда предупредительных критериев, которые позволяют корректировать организацию процедуры испытания в лаборатории, не ожидая, когда процесс испытаний разладится, и результаты будут попадать за контрольные границы.

Например, если 6 точек подряд находятся в зоне С, то это считается критическим признаком и при проведении лабораторных испытаний можно сделать вывод, что были нарушены условия их проведения. Отображение данного критерия на контрольной карте будет иметь вид, представленный на рис.4.



Рисунок 4 - Один из критериев разлаженности испытательного процесса

Аналогично рассуждая, для возможных последовательностей точек, находящихся в соответствующих зонах контрольной карты, с некоторой вероятностью, можно определить множество предупредительных критериев, когда имеет место разлаженность процесса испытания, но результаты еще не выходят за пределы предупреждения или действия.

На рис. 5 представлены критерии обнаружения предупредительных (тревожных) признаков и признаков действия. Казалось бы, что нахождение результатов во вполне «благополучной» зоне С не может вызывать беспокойства, однако, проведя исследование вероятности наступления «тревожного» признака, было выявлено, что 15 результатов, находящихся в этой зоне соответствуют вероятности 0,00327 появления тревожного признака, т.е. в скором времени процесс может выйти из состояния статистической управляемости, поэтому рекомендуется выявить причины и пересчитать контрольные границы. Но если на карте проявляется ситуация, когда в эту зону попадут 16 точек, вероятность проявления такого события будет равна 0,0023, то данный критерий должен быть отнесен к «критическим». Выполнение этого критерия будет свидетельствовать о возможном выходе испытательного процесса за рамки стабильности, так как начинает сказываться наблюдаемая непрогнозируемая «систематика» в проведении испытательного процесса.

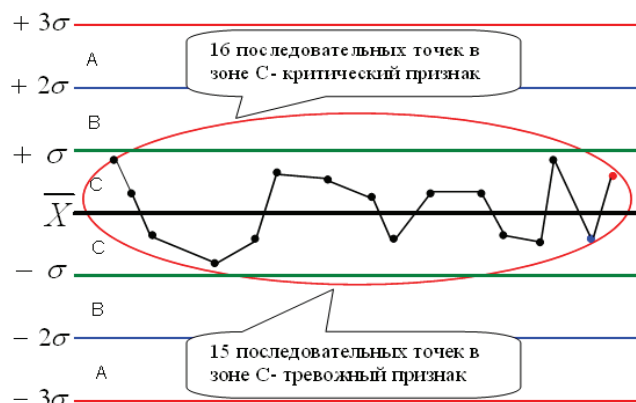


Рисунок 5 - Вероятность появления предупредительного признака и признака действия

Появление предупредительных признаков свидетельствует о том, что результат может выйти из-под контроля. В этом случае следует провести поиск причин, устранить их (проверить работу средств измерительной техники, качество калиброванных или стандартных растворов, качество реактивов и

сроки их хранения; возможно, появились субъективные погрешности). При наличии признаков действия результаты испытаний ставятся под сомнение (процесс вышел из-под контроля), и до исправления недостатков они не должны выдаваться потребителю.

Таким образом, рассмотренный подход и полученные критерии выявления тенденции разлаженности процесса лабораторных испытаний в зависимости от зоны расположения последовательности точек на контрольной карте могут быть положены в основу последовательного анализа «критических» или «тревожных» ситуаций при проведении испытаний и принятия решения.

Выводы

В настоящее время пересматривается методология контроля результатов лабораторных испытаний, которая основана на статистическом подходе и предполагает оценивание и контролирование приемлемости выполняемых измерений не только в условиях повторяемости, но и в условиях промежуточной прецизионности. Оценивание приемлемости результатов осуществляется как в оперативных условиях, так и в течение длительного времени. Решить вопрос приемлемости результатов в оперативных условиях позволяют найденные для каждого конкретного случая границы CD , которых не должны превышать полученные результаты с некоторой вероятностью. При оценивании стабильности испытательного процесса возможно раннее выявление тенденции его разлаженности в соответствии с теоретически обоснованным подходом по критериям, основанным на анализе расположения последовательности точек контрольной карты.

Данное направление исследований является перспективным и требует дальнейшей детальной разработки с формализацией полученных результатов в виде алгоритмов последовательного адаптивного принятия решения

Список использованной литературы

1. ДСТУ ISO/IEC 17025:2006. Загальні вимоги до компетентності випробувальних та калібрувальних лабораторій. Чинний від 01.01.2006.– К.: Держспоживстандарт України, 2006. – 32 с.
2. ДСТУ ГОСТ ISO 5725-6:2005. Точність (правильність і прецизійність) методів та результатів вимірювання. Частина 1. Використання значень точності на практиці. Чинний з 01.07.2006.
3. Мердок Дж. Контрольные карты / Дж. Мердок.– М.: Финансы и статистика, 1986. – 150 с.
4. ISO 8258:91. Контрольные карты Шухарта.
5. Смирнов Н.Д., Дунин-Барковский И.В. Курс теории вероятности и математической статистики для технических приложений.– Л.: Наука, 1969. – 511 с.

Сведения об авторах

Володарский Евгений Тимофеевич, д.т.н., профессор кафедры автоматизации экспериментальных исследований, Национальный технический университет Украины «Киевский политехнический институт», просп. Победы, 37, Киев 03056, Украина, тел/факс (044) 4549800, e-mail: vet_1@voliacable.com

Кошева Лариса Александровна, к.т.н., доцент кафедры биокриобиологии и аэрокосмической медицины, Национальный авиационный университет, просп. Космонавта Комарова, 1, Киев, 03056, Украина, тел/факс (044)4067442, e-mail: arnis@ukrpost.net

Рековец Наталья Алексеевна, аспирант кафедры автоматизации экспериментальных исследований, Национальный технический университет Украины «Киевский политехнический институт», просп. Победы, 37, Киев 03056, Украина, тел/факс (044) 4549800, e-mail: vet@aer.ntu-kpi.kiev.ua