

Є.О. Адоньєв, В.М. Верещага

**ВИЗНАЧЕННЯ ТА АНАЛІЗ
ПАРАБОЛІЧНОЇ ПОВЕРХНІ БАЛЮБИ (БПП)**

Анотація. В статті досліджено застосування поверхонь типу «Лупа» для моделювання складних багатофакторних процесів. Зокрема, введено назву «параболічна поверхня Балюби - БПП», що будується за емпіричними даними, зроблено її аналіз та виявлено властивості та ознаки, які пояснюють можливість перетворення БПП у площину, пряму, точку. Обґрунтовується, що БПП є композицією вихідних точок, а також можливість її застосування у способі розгортання-згортання чарунок. Ці дослідження обґрунтовують можливості застосування способу розгортання-згортання чарунок для моделювання багатофакторних процесів. Цей спосіб, у подальшому, буде покладено у основу математичного апарату в інформаційних системах підтримки управлінських рішень при впровадженні енергозберігаючих проектів.

Ключові слова: моделювання, багатофакторний, параболічний, поверхня, точкове рівняння, комбінація, композиція, аналіз, суперпозиція.

Постановка проблеми. Застосування поверхонь типу «Лупа» для моделювання, за емпіричними вихідними даними, топографічних поверхонь та складних багатофакторних процесів, викликало необхідність їхнього визначення, з'ясування їхнього місця серед багатьох інших поверхонь, виявлення властивостей, що їм притаманні. Усвідомлення способу їхнього утворення та властивостей, що їм притаманні, надасть можливість більш обґрунтованого їх застосування у тому чи іншому випадках. Тому проведення аналізу параболічних поверхонь типу «Лупа» з метою виявлення способів їхньої побудови, встановлення обмежень та притаманних їм властивостей, є актуальним. З'ясуванню означених актуальних питань, щодо параболічних поверхонь типу «Лупа», і присвячено цю статтю.

Огляд літературних джерел. Рівняння параболі у точковій формі, що проходить через наперед визначені три дійсних і одну невласну точки, було запропоноване Балюбою І.Г. [1]. З його використанням було розроблено спосіб «Лупа» [2] для побудови за емпіричними

даними відсіку параболічної поверхні, що проходить через дійсних дев'ять точок, ребрами якої є точкові рівняння парабол. Приклади застосування способу «Лупа» і подальший його розвиток спостерігаємо у роботах [3, 4]. Однак, у жодній з наукових робіт, щодо теоретичного аналізу способу «Лупа», не йдеться. Такий аналіз можна зробити тільки дослідивши окремі питання теорії функцій, на розвиток якої вплинули дослідження О. Гільберта, Н.К. Барі, Д.Є. Меншова, А. Лебега [6], А.Н. Колмогорова [7]. У подальших дослідженнях знадобиться поняття складної функції. Складна функція [5], це функція, що являє собою композицію декількох простих функцій. Якщо множина значень Y_i функцій f_i вміщується у множині визначення X_{i+1} функції f_{i+1} : $f_i : X_i \rightarrow Y_i \subset X_{i+1}$, для $i=1, n-1$, то функція $f_n \circ f_{n-1} \circ \dots \circ f_1$, для $n \geq 2$, яка визначається рівністю: $(f_n \circ f_{n-1} \circ \dots \circ f_1)(x) = f_n(f_{n-1}(\dots f_1(x) \dots))$, для $x \in X$, називається складною функцією або $(n-1)$ – кратною композицією функцій $f_1, f_2, \dots, f_n$. Складні функції зберігають властивості функцій, композицією яких вони є.

Усіляка раціональна функція будь-якої кількості змінних є композицією чотирьох арифметичних дій, тобто композицією функцій $x+y, x-y, x \cdot y, x/y$.

Простою функцією називається вимірювана функція $g : X \rightarrow R^1, g(x)=y_n, y_n \neq y_k$ при $n \neq k$, якщо $x \in X_n, U_{n-1}^\infty x_n = x$.

Проста функція g називається такою, що додається, коли ряд $\sum_{n=1}^{\infty} y_n \mu x_n$ збігається абсолютно; сума цього ряду є інтегралом Лебега: $\int g d\mu$.

Відомо [5], якщо інтегральна сума: $\sigma = \sum_{i=1}^n \eta_i \mu(M_i)$, у сенсі Лебега, у разі наближення до нуля максимальної з різниць $y_i - y_{i-1}$, тобто коли існує таке число I , що для будь-якого $\varepsilon > 0$ знайдеться $\delta > 0$ таке, що єдиній умові $\max(y_i - y_{i-1}) < \delta$ буде відповідати нерівність $|\sigma - I| < \varepsilon$. При цьому, вказана межа I називається визначеним інтегралом Лебега від функції $f(x)$ на відрізку $[a, b]$. Іншими словами, I -інтеграл Лебега дорівнює площі між підінтегральною кривою та віссю y у межах відрізку $[a, b]$. Замість відрізку $[a, b]$ у інтегралі Лебега розглядається довільна множина, що вимірюється відносно деякої

додатної повної рахунково-адитивної міри, під якою треба розуміти функцію множин λ деякої множини X на класі підмножин ε , коли

$$\lambda(U_{i=1}^n E_i) = \sum_{i=1}^n \lambda(E_i), \text{ де } E_i \in \varepsilon, U_{i=1}^n E_i \in \varepsilon, E_i \cap E_j = \emptyset \text{ для } i \neq j, \text{ відповідно,}$$

при $n=2$, n – будь-яке кінцеве $n < \infty$.

Якщо розглянути (рис.1) геометричну схему для створення точкового рівняння дуги параболи, що проходить через точки A , C_∞ , C , B , де точка C_∞ є невласною та визначає напрям гілок параболи [8], то дуга параболи другого порядку на відрізку AB у точковій формі, матиме точкове рівняння:

$$M = A \frac{\bar{t}(t_c - t)}{t_c} + B \frac{t(t - t_c)}{\bar{t}_c} + C \frac{\bar{t}t}{\bar{t}_c t_c}, \quad (1)$$

де $0 \leq t \leq 1$ – параметр, що визначає дугу параболи;

$\bar{t} = 1 - t$ – доповнення параметра t до одиниці;

t_c – значення параметру, що визначає невласну точку дуги параболи;

$\bar{t}_c = 1 - t_c$ – доповнення параметра t_c до одиниці.

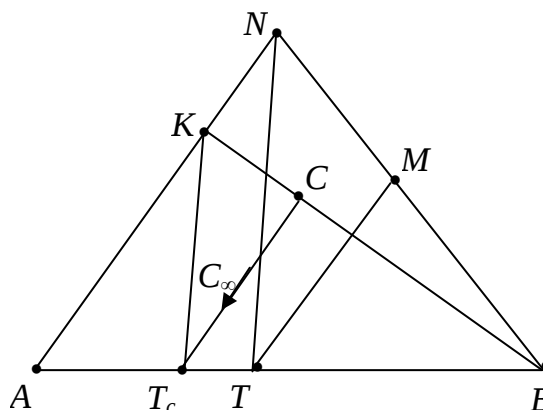


Рисунок 1 – Схема побудови змінюваної точки M параболи

Однак, ні у цій роботі [8], ні у інших [1, 2, 3, 4], де йдеться про подібні параболи та поверхні типу «Лупа», які побудовані з використанням аналогічних парабол другого порядку, не надаються визначення, аналіз та властивості парабол та поверхонь типу «Лупа».

Ціль та завдання статті. Сформулювати визначення для поверхонь типу «Лупа», виконати аналіз їхніх властивостей.

Основна частина. Нехай задано дев'ять дійсних точок X_{11} , ..., X_{33} (рис.2).

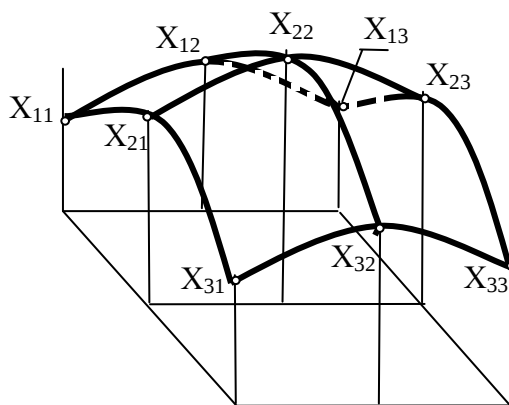


Рисунок 2 – Параболічна поверхня

По аналогії з (1) введемо позначення:

$$a_1 = \frac{\bar{v}(v_c - v)}{v_c}; \quad a_2 = \frac{v\bar{v}}{v_c v_c}; \quad a_3 = \frac{v(v - v_c)}{v_c};$$

$$b_1 = \frac{\bar{u}(u_c - u)}{u_c}; \quad b_2 = \frac{u\bar{u}}{u_c u_c}; \quad b_3 = \frac{u(u - u_c)}{u_c};$$

Тоді $a_{11}=a_1b_1; a_{21}=a_2b_1; a_{31}=a_3b_1; a_{12}=a_1b_2; a_{22}=a_2b_2;$
 $a_{32}=a_3b_2; a_{13}=a_1b_3; a_{23}=a_2b_3; a_{33}=a_3b_3$ (2)

Функції a_i, b_j, a_{ij} – є функціями операцій додавання, різниці, множення та ділення і є простими додавальними функціями. Якщо розглянути складку функцію, що утворена сумою a_{ij} , то дістанемо складну функцію $f(a_{ij}) = \sum_{i,j=1}^3 a_{ij}$, яка буде суперпозицією простих функцій a_{ij} . Оскільки у точковому БН-численні вимірювання відбувається через відношення однорідних геометричних фігур, то усі параметри повинні знаходитися у межах $0 \leq v, u, \bar{v}, \bar{u}, v_c, u_c, \bar{v}_c, \bar{u}_c \leq 1$. Зафіксуємо напрям осі параболі, прийнявши $v_c = u_c = \bar{v}_c = \bar{u}_c = 0,5$, та розрахуємо функції a_{ij} для різних значень їхніх параметрів u та v . Результати розрахунків зведемо у таблицю 1.

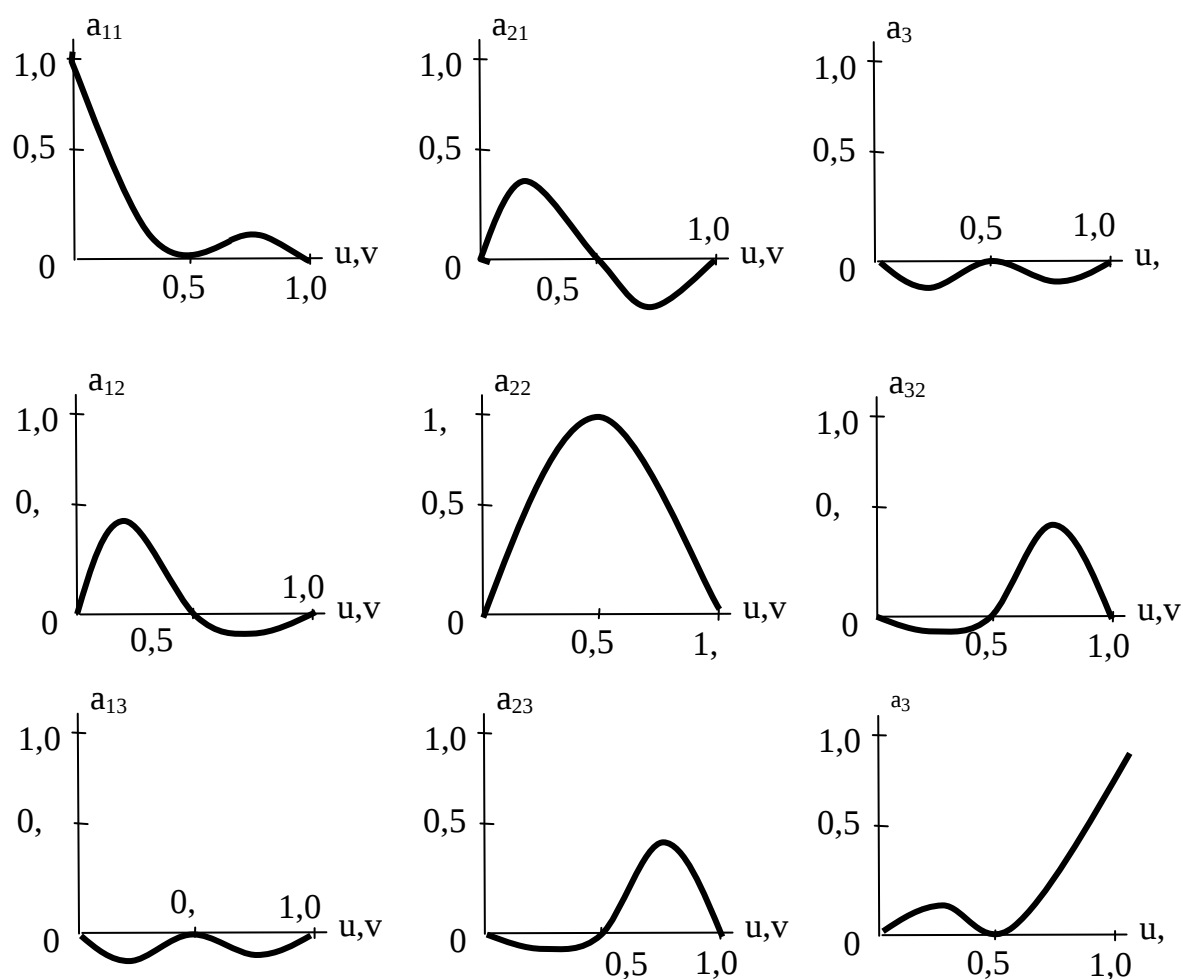
Графіки простих функцій з таблиці 1 зобразимо на рисунку 3.

Суперпозиція функцій-параметрів a_{ij} завжди буде дорівнювати одиниці: $\sum_{i,j=1}^3 a_{ij} = 1$. Доведемо це, склавши таблицю:

a_1	a_2	a_3	b_1
a_1	a_2	a_3	b_2
a_1	a_2	a_3	b_3

Результати розрахунків функції a_{ij}
для різних значень параметрів u та v

	u, v						
a_{ij}	0	0,2	0,4	0,5	0,6	0,8	1
a_{11}	1	0,2304	0,0144	0	0,0064	0,0144	0
a_{21}	0	0,3072	0,1152	0	-0,0768	-0,0768	0
a_{31}	0	-0,0576	-0,0096	0	-0,0096	-0,0576	0
a_{12}	0	0,3072	0,1152	0	-0,0768	-0,0768	0
a_{22}	0	0,4096	0,9216	1	0,9216	0,4096	0
a_{32}	0	-0,0768	-0,0768	0	0,1152	0,3072	0
a_{13}	0	-0,0576	-0,0096	0	-0,0096	-0,0576	0
a_{23}	0	-0,0768	-0,0768	0	0,1152	0,3072	0
a_{33}	0	0,0144	0,0064	0	0,0144	0,2304	1

Рисунок 3 – Графіки функцій a_{ij}

Кожен з рядків a_i відповідає першій, другій та третій параболі, що побудовані за вихідними даними x_{ij} . Як відомо з [1,2,3,4,8],

сума $a_1+a_2+a_3=1$, за тими нормами також $b_1+b_2+b_3=1$, звідки сума добутоків $a_1b_1+a_2b_1+a_3b_1=b_1$. Аналогічно $a_1b_2+a_2b_2+a_3b_2=b_2$ та $a_1b_3+a_2b_3+a_3b_3=b_3$. Складемо ці три рівняння, зробимо відповідні заміни, дістанемо:

$$a_1b_1+a_2b_1+a_3b_1+a_1b_2+a_2b_2+a_3b_2+a_1b_3+a_2b_3+a_3b_3=b_1+b_2+b_3;$$

$$a_{11}+a_{21}+a_{31}+a_{12}+a_{22}+a_{32}+a_{13}+a_{23}+a_{33}=1 \quad (3)$$

З графічної точки зору, ліва частина (3) означає суперпозицію усіх графіків (рис.3) і буде мати вигляд (рис.4). Функції-параметри a_{ij} (2) побудовані на основі параболи (1), тому для усіх значень u, v вони будуть постійно такими, як зображено на рис. 3. Для іншого точкового рівняння, аналогічно (1), іншими будуть і (2). Як бачимо (рис.3), відносно a_{22} , що знаходиться всередині, a_{11} є симетричним до a_{33} , (рис.5) відносно прямої $u, v=1$.

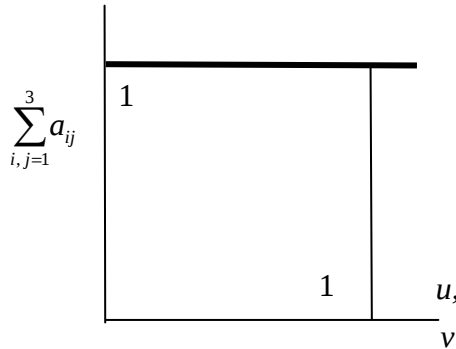


Рисунок 4 – Зображення суперпозиції (3)

Інші шість параметрів є попарно рівними: $a_{13}=a_{31}$; $a_{12}=a_{21}$; $a_{23}=a_{32}$. Однак, a_{21} є симетричним до a_{32} відносно прямої $u, v=0,5$ (рис.5); a_{12} - симетричний до a_{23} відносно прямої $u, v=0,5$ (рис.5).

Оскільки $a_{12}=a_{21}$, $a_{23}=a_{32}$, то їх зображення на рис.5 є однаковими, і якщо їх накласти один на один, вони співпадутъ.

Ця симетрія викликана тим, що a_1 та b_1 є однаковими за структурою написання, тільки призначені для різних параметрів (2) $a_1(u)$, $b_1(v)$. Аналогічно $a_2(u)$, $b_2(v)$ та $a_3(u)$, $b_3(v)$. Однак, коли структури написання a_1 та b_1 , a_2 та b_2 , a_3 та b_3 будуть різними, то графіки функцій-параметрів a_{ij} не будуть симетричними.

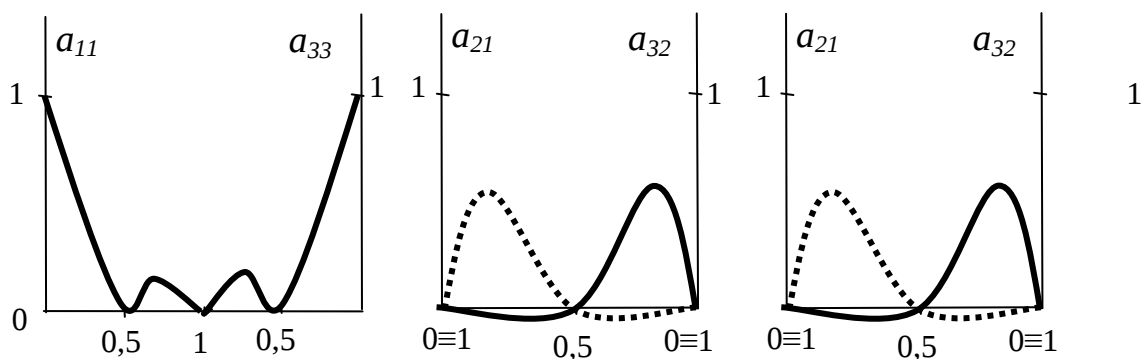


Рисунок 5 – Симетричність параметрів

Якщо параметри a_{ij} з (3) помножити на відповідні вихідні координати точок x_{ij} , отримаємо рівняння параболічної поверхні М:

$$M = x_{11}a_{11} + x_{21}a_{21} + x_{31}a_{31} + x_{12}a_{12} + x_{22}a_{22} + x_{32}a_{32} + x_{13}a_{13} + x_{23}a_{23} + x_{33}a_{33} \quad (4)$$

Оскільки ідея створення поверхонь (4) була висунута професором Балюбою І.Г., то автори пропонують у подальшому називати їх параболічними поверхнями Балюби замість раніше вживаної їхньої назви «поверхня типу Лупа».

Твердження: Якщо у точковому рівнянні (4) $M = \sum_{i,j=1}^3 x_{ij}a_{ij}$ суперпозиція функцій-параметрів $\sum_{i,j=1}^3 a_{ij} = 1$, то точкове рівняння М є БПП (Балюби параболічна поверхня).

Вище було з'ясовано, що ліва частина з (3) є суперпозицією дев'яти функцій-параметрів a_{ij} , яка являє собою, за визначенням, композицію. Однак, тотожність (3), в цілому, є комбінація, тому що зі зміною одного будь-якого з дев'яти a_{ij} будуть змінюватись усі інші. За визначенням [5], комбінація – це взаємно зумовлене поєднання однорідних елементів у більш складну детерміновану форму, у якій зміна одного елементу тягне за собою зміну усіх інших. Композиція (ліва частина з (3)) перетворилася у комбінацію (3), тому що дорівняли її до одиниці. У той же час, будь-яку комбінацію можна перетворити у композицію. Як відомо [5], композиція – це результат складання взаємно незалежних елементів з метою отримання певних рішень, при цьому, зміна будь-якого з елементів композиції не тягне за собою зміни інших. Для прикладу розглянемо точкове рівняння БПП (4), у якому координати x_{ij} є вихідними умовами, що обрані з області визначення. Кожну з них обираємо довільно і їх значення не зале-

жать одне від одного, тому сума їхніх добутків на відповідні функції-параметри $\sum_{i,j=1}^3 x_{ij}a_{ij}$ порушує комбінацію (3) і перетворюється у композицію (4), за допомогою якої визначається змінювана точка M . Кожен з елементів a_{ij} є функцією параметрів u, v : $a_{ij}(u, v)$, $0 \leq u, v \leq 1$. Змінюючи u та v у означених межах, розраховуємо a_{ij} з (2), що є частинами від одиниці (3). Тоді значення M_{ij} є композицією частин від одиниці кожної з вихідних точок x_{ij} .

Твердження: значенню будь-якої змінюваної точки M_{ij} параболічної поверхні Балюби, поданої точковим рівнянням $M = \sum_{i,j=1}^3 x_{ij}a_{ij}$, відповідає одна і тільки одна композиція добутків вихідних координат x_{ij} та відповідних їм елементів a_{ij} тотожності $\sum_{i,j=1}^3 a_{ij} = 1$.

У зв'язку з цим, задаючи вихідні дані x_{ij} певним чином, можемо утворити такі частини, що поверхня БПП виродиться у площину або криву лінію, або у пряму і, навіть, у точку.

Виходячи зі сказаного вище, точкове рівняння параболі (1) треба розглядати не суто як параболу, а як спосіб встановлення взаємно зумовленого поєднання параметрів (комбінацію) для виконання тотожності (3), а змінювані її точки M_i також можна подати як набір частин від одиниці точок A, B, C . Така параболола також може виродитись у пряму або точку.

Цю властивість виродження БПП покладено в основу способу розгортання-згортання чарунок [9]. Також це дозволяє не виконувати аналіз вихідних емпіричних даних, що значно спрощує їхнє застосування.

У теоретичному плані БПП, на нашу думку, слід віднести до окремої групи композиційних поверхонь.

Висновки та напрями подальших досліджень. Результати досліджень, викладені в цій статті, отримано авторами вперше і є науковою новизною. Сформульовано означення та виконано аналіз, встановлено і досліджено властивості та ознаки створення параболічної поверхні Балюби (БПП). Ці дослідження обґрунтовують справедливості можливості способу розгортання-згортання чарунок, який, у подальшому, буде покладено у основу моделювання багатofакторних проце-

сів, зокрема, в системах підтримки управлінських рішень в сфері енергозбереження.

ЛІТЕРАТУРА

1. Балюба И.Г. Точечное уравнение параболической дуги кривой второго порядка / И.Г. Балюба, А.И. Бумага // Збірник тез доповідей і повідомлень VI Міжнародної наукової конференції молодих вчених, аспірантів, студентів. – Макіївка: ДонНАБА, 2007 – с. 64.
2. Кучеренко В.В. Реконструкція способом “Лупа” дискретно представленої поверхні земельної ділянки на основі рівномірної сітки у плані / В.В. Кучеренко, В.М. Верещага, І.Г. Балюба, Є.В. Конопацький // Прикладна геометрія та інженерна графіка. Праці / Таврійський державний агротехнологічний університет. – Вип. 4, т. 55. – Мелітополь: ТДАТУ, 2012 – С. 143-147.
3. Бумага А.И. Теоретические основы конструирования геометрических объектов многомерного пространства в БН-исчислении / А.И. Бумага, А.В. Найдыш, Е.В. Конопацкий, О.А. Чернышова // Научные итоги: достижения, перспективы, гипотезы: Сб. докл. XVIII юбилейной междуна. научн.-практ. конф. (28 ноября 2013 г.) – Вип. 18. С. 151-154.
4. Кучеренко В.В. Формалізовані геометричні моделі нерегулярної поверхні для гіперкількісної дискретної скінченої множини точок: дис. ... канд. техн. наук, 05.01.01 / Вадим Володимирович Кучеренко, Таврійський державний агротехнологічний університет. – Мелітополь, 2013. – 232 с.
5. Математическая энциклопедия / Гл. ред. И.М. Виноградов. – М.: Советская энциклопедия. тт. 2, 3, 4, 5. 1979 – 1984 гг.
6. Ильин В.А., Позняк Э.Г. Основы математического анализа. ч. 1-2, - М., 1971-73.
7. Колмогоров А.Н., Фомин С.В. Элементы теории функций и функционального анализа, 4 изд., М., 1976.
8. Бумага А.И. Точкове рівняння дуги параболи другого порядку. Геометрическое и компьютерное моделирование: энергосбережение, экология, дизайн: Матер. IX Крымской междуна. науч.-практ. конф. (24-28 сентября 2012 г.). Симферополь. Міжвідомчий науково-технічний збірник. Прикладна геометрія та інженерна графіка (спецвипуск). К.: КНУБА, 2012. – Вип. 90. – С. 49-52.

Л.Г. Ахметшина, А.А. Егоров, К.А. Ахметшин

СЕГМЕНТАЦИЯ СЛАБОКОНТРАСТНЫХ ИЗОБРАЖЕНИЙ НА ОСНОВЕ ПРЕОБРАЗОВАНИЯ НЕЧЕТКОЙ ФУНКЦИИ ПРИНАДЛЕЖНОСТИ

Аннотация. Исследованы информационные возможности метода сегментации слабоконтрастных изображений, который обеспечивает повышение ее чувствительности и точности. Суть его заключается в том, что к функциям принадлежности, получаемым в процессе нечеткой кластеризации на каждом шаге итерации применяется процедура преобразования на базе нечеткой логики. Представлены экспериментальные результаты на примере обработки рентгеновских снимков.

Ключевые слова: цифровое слабоконтрастное изображение, функция принадлежности, сегментация, нечеткая логика.

Введение. В связи со сложностью и неоднозначностью возможного решения задач при анализе слабоконтрастных изображений за счет наличия таких видов неопределенности как двусмысленность серого, геометрическая нечеткость, отсутствия знаний о наличии и характеристиках объектов интереса, а также о системе их формирования, широко используют методы вычислительного интеллекта, в частности, аппарат нечеткой логики [1]. При этом, во множестве практических задач, например, в медицине, геологии, экологии и пр. требуется выявление исходно визуально неразличимых областей (объектов интереса) и их границ. Такие аномалии часто представляют собой небольшую область, которую можно принять за шум или дефект снимка, а параметры объектов интереса могут несущественно отличаться друг от друга и от общего фона, иметь неизвестную форму и нечеткие границы.

Ключевой проблемой для осуществления их выявления является формирование нового пространства признаков на основе анализа исходного контраста его элементов. Выбор различных типов преобразований исходного изображения и методов обработки, приводит к различным результатам. Для зашумленных изображений с низкой

контрастностью дополнительно необходимо осуществить его предварительное усиление.

Современный подход, основанный на нейро-фаззи технологиях, обладает преимуществом перед детерминистическими моделями [1, 2]. В работе [3] рассмотрены информационные возможности метода анализа слабоконтрастных изображений, основанного на использовании метода нечеткой кластеризации, который направлен на повышение достоверности и точности сегментации с целью улучшения возможностей их восприятия зрительной системой человека.

Цель данной работы – демонстрация информационных возможностей метода сегментации слабоконтрастных изображений, который за счет преобразования на каждом шаге итерации нечетких функций принадлежности, получаемым в процессе нечеткой кластеризации, обеспечивает повышение ее чувствительности.

Основная часть. Для сегментации слабоконтрастных изображений в данной работе применяется модифицированный метод dFCM (базовый метод был рассмотрен в работе [3]), алгоритм которого включает следующие шаги:

1. Инициализация начального числа кластеров c и значений матрицы центров нечетких кластеров v^0 ; экспоненциального веса нечеткой кластеризации m .

2. Вычисление текущих функций принадлежности u^t по формуле:

$$u_{k,i}^t = \sum_{L=1}^c \left[\frac{D_{i,k}}{D_{i,L}} \right]^{-\frac{2}{m-1}} \begin{pmatrix} \forall k \in \{1, \dots, c\}, \\ \forall i \in \{1, \dots, n\} \end{pmatrix}, \quad (1)$$

где n – количество экземпляров исходных данных X Матрица расстояний D рассчитывается на основе центров нечетких кластеров предыдущей итерации v^{t-1} по формуле:

$$D_{i,k} = \sqrt{(X_i - v_k^{t-1})^T (X_i - v_k^{t-1})}, (\forall i \in \{1, \dots, n\}, \forall k \in \{1, \dots, c\}). \quad (2)$$

3. Динамическое преобразование функции принадлежности, которое выполняется следующим образом:

3.1. функции принадлежности ко всем нечетким кластерам в целом или к каждому нечеткому кластеру интерпретируются как изображение. Таким образом, перед выполнением динамического преобразования функции принадлежности получаем или полутоновое

изображение размерностью $[c \cdot n]$, или c -мерное изображение размерностью $[dy \cdot dx \cdot c]$, где dy и dx – количество пикселей по вертикали и горизонтали, соответственно, у исходного снимка;

3.2. вычисление показателя нечеткости V'_{fz} по формуле [1]:

$$V'_{fz} = \left(\sum_{k=1}^c \sum_{i=1}^n (u_{k,i}^t)^2 \right) / n; \quad (3)$$

3.3. повышение контраста с последующим масштабированием на отрезок $[0, 1]$ для сформированного изображения;

3.4. вычисление показателя нечеткости V''_{fz} по формуле (3), но с использованием обработанной функции принадлежности.

3.5. если выполняется условие $V'_{fz} > V''_{fz}$, то происходит слияние матрицы нечетких функций принадлежности до и после $((u'')^t)$ выполнения пункта 3.3 по формуле:

$$u_{k,i}^t = u_{k,i}^t \cdot (0.5 + d_v) + (u'')_{k,i}^t \cdot (0.5 - d_v), (\forall k \in \{1, \dots, c\}, \forall i \in \{1, \dots, n\}), \quad (4)$$

где $d_v = 200 \cdot (V'_{fz} - V''_{fz})^2$.

3.6. масштабирование полученной функции принадлежности, чтобы удовлетворялось условие:

$$\sum_{k=1}^c u_{k,i} = 1, (\forall i \in \{1, \dots, n\}). \quad (5)$$

4. Вычисление матрицы центров нечетких кластеров для текущей итерации v^t по формуле:

$$v_{k,j}^t = \left(\sum_{i=1}^n (u_{k,i}^t)^m \cdot X_{i,j} \right) / \sum_{i=1}^n (u_{k,i}^t)^m, (\forall k \in \{1, \dots, c\}, \forall j \in \{1, \dots, q\}), \quad (6)$$

где q – количество информативных признаков каждого вектора исходных данных

5. Вычисление значения Δ_v^t как среднего по матрице расстояний между центрами нечетких кластеров v^t и v^{t-1} , а также критериев V_{xb}^t и V_{fz}^t (по формуле (3)), которые являются показателями Ксие-Биени и нечеткости текущей итерации (уменьшение первого и увеличение второго характеризуют улучшение качества нечеткого разбиения на группы), соответственно, следующим образом [1]:

$$V_{xb}^t = \left(\sum_{k=1}^c \sum_{i=1}^n (u_{k,i}^t)^m \cdot \sum_{j=1}^q (X_{i,j} - v_{k,j}^t)^2 \right) / \left(n \cdot (d_{\min}^e)^2 \right), \quad (7)$$

где $d_{\min}^e$ – минимальное Евклидово расстояние между центрами нечетких кластеров.

6. Если $C_{fz}^t \geq C_{fz}^{\max}$, причем $C_{fz}^t = V_{fz}^t / V_{xb}^t$, где $C_{fz}^{\max}$ – максимальный из коэффициентов C_{fz}^t , полученных в процессе обучения, то запоминаются следующие значения: $\Delta_v^{\max} = \Delta_v^t$, $C_{fz}^{\max} = C_{fz}^t$, $u^{\max} = u^t$ и $v^{\max} = v^t$.

7. Если не выполняется условие:

$$\Delta_v^t < \varepsilon \text{ или } (|V_{xb}^t - V_{xb}^{t-1}| < \varepsilon \text{ и } |V_{fz}^t - V_{fz}^{t-1}| < \varepsilon), \quad (8)$$

где V_{xb}^{t-1} и V_{fz}^{t-1} – показатели Ксие-Биени и нечеткости предыдущей итераций, соответственно, то переход к пункту 2.

8. Если $C_{fz}^t < C_{fz}^{\max}$ и $(\Delta_v^t > \Delta_v^{\max} \text{ или } (\Delta_v^t < \Delta_v^{\max} \text{ и } p_{\Delta_v} > p_c))$, причем коэффициенты p_{Δ_v} и p_c определяются выражениями:

$$p_c = \frac{|C_{fz}^t - C_{fz}^{\max}|}{\max(C_{fz}^t, C_{fz}^{\max})} \cdot \frac{1}{C_{fz}^{\max} - C_{fz}^{\min}}, \quad (9)$$

$$p_{\Delta_v} = \frac{|\Delta_v^t - \Delta_v^{\max}|}{\max(\Delta_v^t, \Delta_v^{\max})} \cdot \frac{1}{(\Delta_v^{\max})' - \Delta_v^{\min}}, \quad (10)$$

где $C_{fz}^{\min}$ и $\Delta_v^{\min}$ – минимальные значения параметров C_{fz}^t и Δ_v^t , соответственно, а $(\Delta_v^{\max})'$ – максимальное значение критерия Δ_v^t , то происходит возврат к сохраненным значениям матриц нечеткой функции принадлежности $u^{\max}$ и центров нечетких кластеров $v^{\max}$, которые и являются результатом обучения.

При выполнении пункта 3.3 приведенного выше алгоритма для повышения контраста в данной работе применен метод, основанный на использовании вероятностных характеристик яркости [4], который предполагает выполнение преобразования каждого канала исходного изображения по следующим правилам:

$$\text{если } I_{\min}^1 \leq I_{x,y}^1 < \beta_1, \text{ то } \mu_{x,y} = 2 \left(\frac{I_{x,y}^1 - \overline{I}^1}{I^1 - I_{\min}^1} \right)^2; \quad (11)$$

$$\text{если } \beta_1 \leq I_{x,y}^1 < \bar{I}^1, \text{ то } \mu_{x,y} = 1 - 2 \left(\frac{I_{x,y}^1 - \bar{I}^1}{I^1 - I_{\min}^1} \right)^2; \quad (12)$$

$$\text{если } \bar{I}^1 \leq I_{x,y}^1 < \beta_2, \text{ то } \mu_{x,y} = 1 - 2 \left(\frac{I_{x,y}^1 - \bar{I}^1}{I_{\max}^1 - \bar{I}^1} \right)^2; \quad (13)$$

$$\text{если } \beta_2 \leq I_{x,y}^1 < I_{\max}^1, \text{ то } \mu_{x,y} = 2 \left(\frac{I_{x,y}^1 - \bar{I}^1}{I_{\max}^1 - \bar{I}^1} \right)^2, \quad (14)$$

где $\bar{I}^1$ – среднее значение яркости для выбранного цветового канала входного изображения; $\beta_1 = \frac{I_{\min}^1 + \bar{I}^1}{2}$; $\beta_2 = \frac{I_{\max}^1 + \bar{I}^1}{2}$; $\mu_{x,y}$ – значение нечеткой функция принадлежности для пикселя с координатами x, y входного изображения, $I_{\min}^1$ и $I_{\max}^1$ – минимальное и максимальное значения яркости для выбранного цветового канала входного изображения, соответственно. После этого выходное изображение формируется следующим образом:

$$I_{x,y}^2 = I_{x,y}^1 (\mu_{x,y})^2. \quad (15)$$

Экспериментальные результаты. Представленный модифицированный алгоритм был применен при обработке различных слабоконтрастных полутонных медицинских изображений, примерами которых являются снимки, представленные на рис. 1 – 2.

На рис. 1 а приведено полутонное медицинское изображение – томограмма головного мозга, выполненная с целью диагностики наличия гематомы, а также определения области ее влияния. Гистограмма исходного изображения (рис. 1 б) показывает, что изображение содержит весь диапазон уровней яркостей. Однако диагностирование гематомы по исходному снимку затруднено из-за ее расположения на низкоконтрастном участке изображения (фрагмент, обведенный прямоугольником), а область ее влияния вообще визуально неразличима. Таким образом, это изображение является слабоконтрастным. Введение рентгеноконтрастного вещества (рис. 1 в) хоть и позволяет более четко выделить гематому, однако не выявляет области ее влияния.

На рис. 2 а приведена маммограмма, по гистограмме которой

(рис. 2 б) этот снимок следует отнести к высококонтрастным изображениям, однако, фрагмент, выделенный прямоугольником, является низкоконтрастным.

При проведении экспериментов были выбраны следующие значения управляющих параметров: $c = 6$, $m = 2$, $\varepsilon = 10^{-5}$. Визуализация результатов нечеткой кластеризации производилась на основе применения метода сравнения с исходными данными [3].

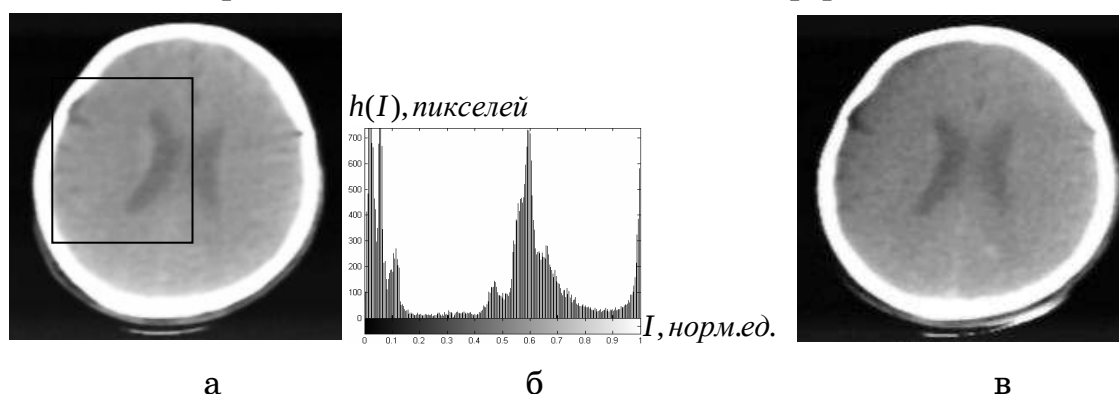


Рисунок 1 - Рентгеновская томограмма головного мозга:
а – исходный полутоновой снимок (204x201); б – его гистограмма;
в – результаты введения рентгеноконтрастного вещества

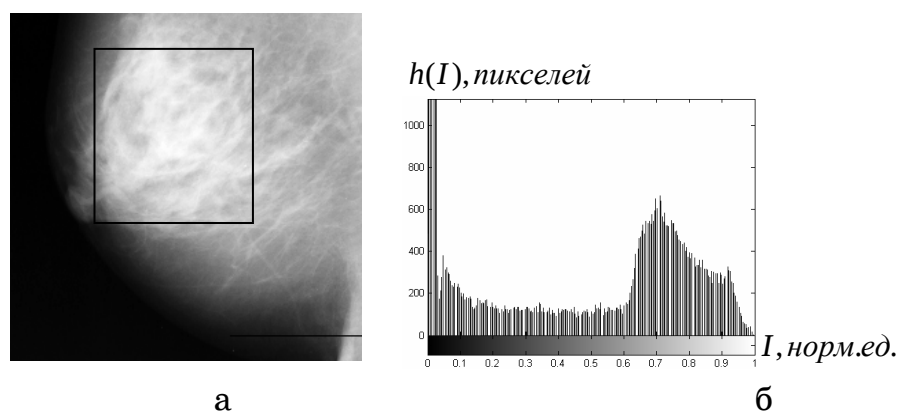


Рисунок 2 - Маммограмма: а – исходный снимок (256x256);
б – его гистограмма

На рис. 3 представлены результаты сегментации томограммы (рис. 1 а) модифицированным методом dFCM. При этом отсутствие динамического сжатия функции принадлежности (рис. 3 а) позволило выделить только гематомы. Невыполнение пункта 3.5 предложенного метода хоть и позволяет добиться выявления области влияния гематомы, но не обеспечивает четкого выделения ее границ (рис. 3 б). В тоже время, выполнение динамического преобразования функции принадлежности в полном объеме (рис. 3 в), позволило добиться желаемой четкости при выделении границ области влияния гематомы.

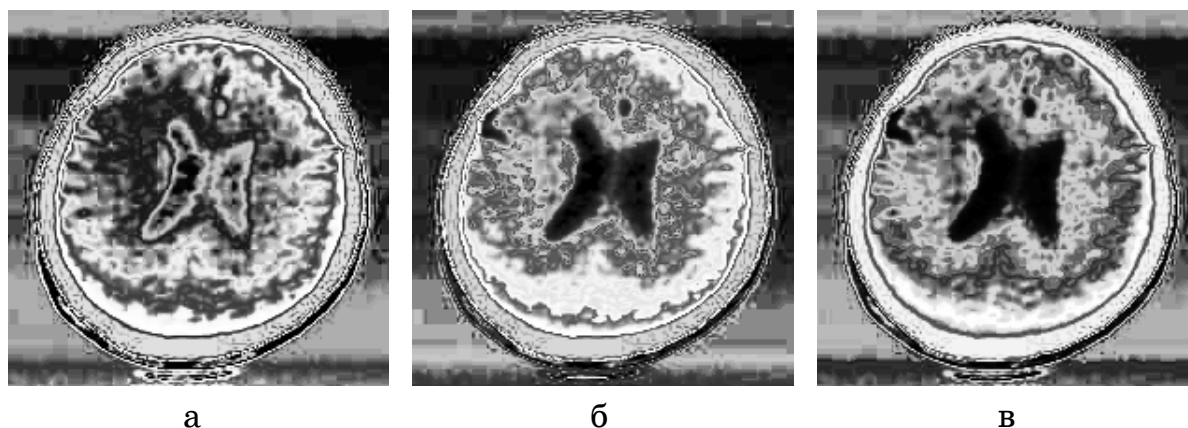


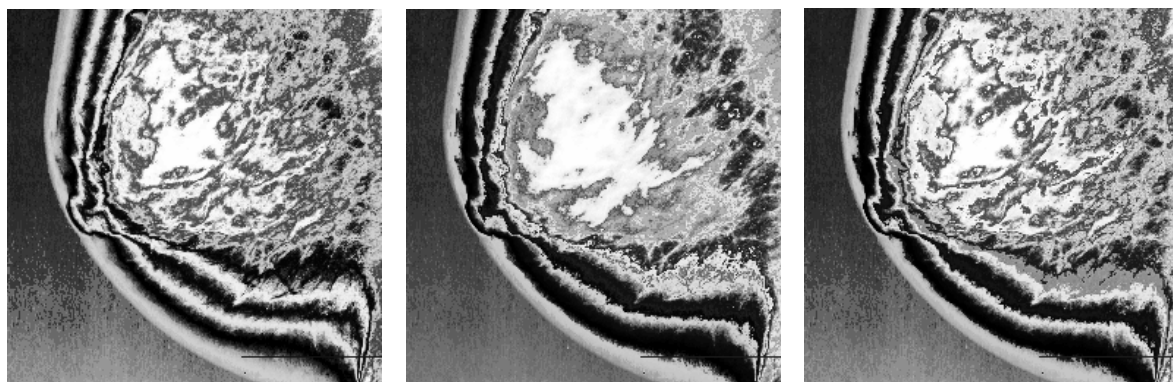
Рисунок 3 - Сегментация изображения (рис. 1 а): а – без динамического преобразования функции принадлежности, б – без выполнения п. 3.5; в – с выполнением динамического преобразования функции принадлежности (п. 3.1 – 3.6).

Выполнение сегментации предложенным методом маммограммы (рис. 2 а), результаты которой приведены на рис. 4 показывает, что применение динамического преобразования функции принадлежности (без выполнения пункта 3.5) может привести и к потере детализации в области интереса (рис. 4. 2). Однако, применение динамического преобразования функции принадлежности в полном объеме (рис. 4 в) позволяет успешно справиться с устранением описанного недостатка. Следует, правда, отметить, что для данного изображения выполнение динамического преобразования функции принадлежности (рис. 4 в) не привело к существенному повышению уровня детализации области интереса по сравнению сегментацией без выполнения пункта 3 в целом (рис. 4 а).

Выводы. На основе анализа полученных экспериментальных результатов можно сделать следующие выводы:

– сегментация слабоконтрастных изображений предложенным модифицированным методом dFCM позволяет при выполнении динамического преобразования функции принадлежности добиться более высокой степени детализации по сравнению с базовым алгоритмом.

– выполнение пункта 3.5 предложенного метода является важным шагом в «стабилизации» результата сегментации при «неудачном» срабатывании метода повышения контраста на некоторых итерациях.



а

б

в

Рисунок – 4. Сегментация изображения (рис. 2 а): а – без динамического преобразования функции принадлежности, б – без выполнения п. 3.5; в – с выполнением динамического преобразования функции принадлежности (п. 3.1 – 3.6)

ЛИТЕРАТУРА

1. Рутковский Л. Методы и технологии искусственного интеллекта / Рутковский Л. – М., 2010. – 600 с.
2. Horst Haußecker Handbook of Computer Vision and Applications. -V. 2. Signal Processing and Pattern Recognition / Horst Haußecker, Hamid R. Tizhoosh.- Academic Press. -1999. -722p.
3. Егоров А. Оптимизация яркости изображений на основе нейро-фаззи технологий / А. Егоров Л. Ахметшина Монография. – Изд. Lambert. – 2015. – 139 с.
4. Hassanien A. A comparative study on digital mammography enhancement algorithms based on fuzzy theory / A. Hassanien, A. Badr // Studies in Informatics and Control. – 2003. – Vol. 12., № 1. – P. 1 – 31.

М.Г. Бердник

**МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ УЗАГАЛЬНЕНОЇ
КРАЙОВОЇ ЗАДАЧІ НЕЙМАНА ТЕПЛООБМІНУ
ПОРОЖНЬОГО КУСКОВО-ОДНОРІДНОГО ЦИЛІНДРА**

Анотація. Розроблена математична модель температурних розподілів у порожньому кусково-однорідному циліндрі, який обертається з постійною кутовою швидкістю навколо осі OZ з урахуванням кінцевої швидкості поширення тепла, у вигляді крайової задачі Неймана математичної фізики. Розроблено нове інтегральне перетворення для кусково-однорідного простору, за допомогою якого знайдено температурне поле порожнього кусково-однорідного кругового циліндра у вигляді збіжних ортогональних рядів по функціям Бесселя і Фур'є.

Ключові слова: крайова задача Неймана, узагальнене рівняння переносу енергії, інтегральні перетворення Лапласа, Фур'є, час релаксації.

Вступ. У феноменологічній теорії теплопровідності передбачається, що швидкість поширення тепла є нескінченно великою [1, 2]. Однак при високих інтенсивних нестационарних процесах, що спостерігаються, наприклад, при вибухах, надзвукових потоках, великих швидкостях обертання використання цього припущення приводить до помилок, тому необхідно враховувати, що розповсюдження теплоти проходить з кінцевою швидкістю.

Як показує огляд літератури теплообмін в циліндрах, які обертаються, вивчений в даний час ще недостатньо [3, 4]. Показано [1], що чисельні методи дослідження нестационарних неосесиметричних задач теплообміну циліндрів, які обертаються, є не завжди ефективними, якщо мова йде про обчислення при великих швидкостях обертання. Так доводиться [1], що умови стійкості обчислень в методі кінцевих елементів і методі кінцевих різниць, що застосовуються до розрахунку нестационарних неосесиметричних температурних полів циліндрів, які обертаються, визначаються аналогічними характеристиками. Ці умови мають вигляд:

$$1 - \frac{\Delta F_0}{\Delta \phi^2} \geq 0 \quad \text{і} \quad \frac{1}{\Delta \phi} - \frac{Pd}{2} \geq 0,$$

де F_0 – критерій Фур'є, Pd – критерій Предводітелева.

Якщо $Pd = 10^5$, що відповідає кутовій швидкості обертання металевого циліндра $\omega = 1,671 \text{ сек}^{-1}$ радіусом 100 мм, змінні $\Delta \phi$ і ΔF_0 повинні бути підпорядковані таким умовам:

$$\Delta \phi \leq 2 \cdot 10^{-5} \quad \text{і} \quad \Delta F_0 \leq 2 \cdot 10^{-10}.$$

Для рівномірно охолоджуваного циліндра за умови $Bi = 5$ час необхідний для того, щоб температура досягла 90% стаціонарного стану, дорівнює $F_0 \approx 0.025$ [1]. Це означає, що потрібно принаймні здійснити $1.3 \cdot 10^8$ операцій по часу для того, щоб було досягнуто стаціонарний розподіл температури.

Більше того, потрібно відзначити, що протягом одного циклу обчислень потрібно здійснити $3.14 \cdot 10^5$ обчислень, так як внутрішній стан у кільці характеризується $3.14 \cdot 10^5$ точками. У результаті видно, що число обчислень, необхідних для отримання чисельного результату видається нереальним.

Тому для вирішення крайової задачі, яка виникають при математичному моделюванні нестационарних процесів теплообміну в циліндрі, які обертаються, будемо застосовувати інтегральні перетворення.

Метою роботи є розробка нової узагальненої математичної моделі температурних розподілів у кусково-однорідному циліндрі у вигляді крайової задачі Неймана математичної фізики для рівняння теплопровідності, та розв'язання отриманої крайової задачі, розв'язки якої використовуються під час керування температурними полями.

Основна частина. Розглянемо розрахунок нестационарного температурного поля порожнього кругового циліндра зовнішнього радіуса R в циліндричній системи координат (r, ϕ, z) , кусково-однорідного в напрямку полярного радіуса r , який обертається з постійною кутовою швидкістю ω навколо осі OZ , з урахуванням кінцевої швидкості поширення тепла. Теплофізичні властивості якого в кожному шарі не залежать від температури за умови ідеального теплового контакту між шарами, а внутрішні джерела тепла відсутні. У початковий момент часу температура циліндра постійна G_0 , а на зовнішній і внут-

рішній поверхні циліндра відомі теплові потоки $G(\phi)$ і $G_1(\phi)$ відповідно.

Відносну температуру циліндра $\theta(\rho, \phi, t)$ можна представити у вигляді:

$$\theta(\rho, \phi, t) = \begin{cases} \theta_1(\rho, \phi, t), & \text{якщо } \rho \in (\rho_0, \rho_1) \\ \theta_2(\rho, \phi, t), & \text{якщо } \rho \in (\rho_1, \rho_2) \end{cases} \quad (1)$$

Відносні температури $\theta_s(\rho, \phi, t)$ s -го шара циліндра обчислюються по формулам:

$$\theta_s(\rho, \phi, t) = \frac{T_s(\rho, \phi, t) - G_0}{T_{\max} - G_0},$$

де $T_s(\rho, \phi, t)$ - температури s -го шара циліндра; $T_{\max}$ - максимальна температура циліндра; $\rho = \frac{r}{R}$; $s=1,2$.

В [1] отримано узагальнене рівняння переносу енергії для рушійного елемента суцільного середовища, з урахуванням скінченності величини швидкості поширення тепла. Згідно [1] узагальнене рівняння балансу енергії твердого тіла, який обертається, з постійною кутовою швидкістю ω навколо осі OZ, теплофізичні властивості якого не залежать від температури, а внутрішні джерела тепла відсутні приймає вигляд:

$$\gamma c \left\{ \frac{\partial T}{\partial t} + \omega \frac{\partial T}{\partial \phi} + \tau_r \left[\frac{\partial^2 T}{\partial t^2} + \omega \frac{\partial^2 T}{\partial \phi \partial t} \right] \right\} = \lambda \left[\frac{\partial^2 T}{\partial r^2} + \frac{1}{r} \frac{\partial T}{\partial r} + \frac{1}{r^2} \frac{\partial^2 T}{\partial \phi^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial z^2} \right], \quad (2)$$

де γ - щільність середовища; c - питома теплоємність; λ - коефіцієнт теплопровідності; $T(\rho, \phi, t)$ - температура середовища; t - час; τ_r - час релаксації.

Математично задача визначення відносної температури циліндра $\theta(\rho, \phi, t)$ складається в інтегруванні гіперболічних диференціальних рівнянь теплопровідності (2) в області $D_s = \{(\rho, \phi, t) \mid \rho \in (\rho_{s-1}, \rho_s), \phi \in (0, 2\pi), t \in (0, \infty)\}$, що з урахуванням прийнятих допущень запишеться у виді:

$$\frac{\partial \theta_s}{\partial t} + \omega \frac{\partial \theta_s}{\partial \phi} + \tau_r \frac{\partial^2 \theta_s}{\partial t^2} + \tau_r \omega \frac{\partial^2 \theta_s}{\partial \phi \partial t} = \alpha_s^2 \left[\frac{\partial^2 \theta_s}{\partial \rho^2} + \frac{1}{\rho} \frac{\partial \theta_s}{\partial \rho} + \frac{1}{\rho^2} \frac{\partial^2 \theta_s}{\partial \phi^2} \right] \quad (3)$$

с початковими умовами

$$\theta_s(\rho, \phi, 0) = 0, \quad \frac{\partial \theta_s(\rho, \phi, 0)}{\partial t} = 0 \quad (4)$$

граничними умовами

$$\int_0^t \frac{\partial \theta_1}{\partial \rho} \bigg|_{\rho=\rho_0} e^{\frac{\zeta-t}{\tau_r}} d\zeta = W(\phi), \quad \int_0^t \frac{\partial \theta_2}{\partial \rho} \bigg|_{\rho=\rho_2} e^{\frac{\zeta-t}{\tau_r}} d\zeta = V(\phi) \quad (5)$$

умовами ідеального теплового контакту

$$\theta_1(\rho_1, \phi, t) = \theta_2(\rho_1, \phi, t) \quad (6)$$

$$\lambda_1 \frac{\partial \theta_1(\rho_1, \phi, t)}{\partial \rho} = \lambda_2 \frac{\partial \theta_2(\rho_1, \phi, t)}{\partial \rho} \quad (7)$$

де $\rho_1 = \frac{R_1}{R}$; $\rho_0 = \frac{R_0}{R}$; $\rho_2 = 1$; R_0 - внутрішній радіус циліндра; R_1 - радіус межі шарів; λ_s - коефіцієнт теплопровідності, γ_s - щільність, c_s - питома теплоємність, $a_s = \frac{\lambda_s}{c_s \gamma_s}$ - коефіцієнт температуропровідності

s -го шара циліндра; $\alpha_s^2 = \frac{a_s}{R^2}$; $s=1,2$; $W(\phi) = \frac{G_1(\phi) \tau_r}{\lambda_1 (T_{\max} - G_0)}$;

$V(\phi) = \frac{G(\phi) \tau_r}{\lambda_2 (T_{\max} - G_0)}$; $G_1(\phi)$, $G(\phi) \in C(0, 2\pi)$.

Тоді рішення крайової задачі (3) - (7) $\theta_s(\rho, \phi, t)$ є двічі неперервно диференційованим по ρ , ϕ , t в області D і неперервним на $\bar{D}$ [5], тобто $\theta_s(\rho, \phi, t) \in C^{2,1}(D) \cap C(\bar{D})$, а функції $W(\phi)$, $V(\phi)$, $\theta_s(\rho, \phi, t)$, можуть бути розкладені в комплексний ряд Фур'є [5]:

$$\begin{Bmatrix} \theta_s(\rho, \phi, t) \\ W(\phi) \\ V(\phi) \end{Bmatrix} = \sum_{n=-\infty}^{+\infty} \begin{Bmatrix} \theta_{s,n}(\rho, t) \\ W_n \\ V_n \end{Bmatrix} \cdot \exp(in\phi), \quad (8)$$

де

$$\begin{Bmatrix} \theta_{s,n}(\rho, t) \\ W_n \\ V_n \end{Bmatrix} = \frac{1}{2\pi} \int_0^{2\pi} \begin{Bmatrix} \theta_s(\rho, \phi, t) \\ W(\phi) \\ V(\phi) \end{Bmatrix} \cdot \exp(-in\phi) d\phi,$$

де $\theta_{s,n}(\rho, t) = \theta_{s,n}^{(1)}(\rho, t) + I \theta_{s,n}^{(2)}(\rho, t)$; $V_n = V_n^{(1)} + I V_n^{(2)}$; $W_n = W_n^{(1)} + I W_n^{(2)}$;

I - уявна одиниця.

З огляду на те, що $\theta_s(\rho, \phi, t)$ функції дійсні, обмежимося надалі розглядом $\theta_{s,n}(\rho, t)$ для $n=0,1,2,\dots$, тому що $\theta_{s,n}(\rho, t)$ і $\theta_{s,-n}(\rho, t)$ будуть комплексно спряженими [5]. Підставляючи значення функцій з (8) у (3) - (7) одержимо систему диференціальних рівнянь:

$$\frac{\partial \theta_{s,n}^{(i)}}{\partial t} + \vartheta_n^{(i)} \theta_{s,n}^{(m_i)} + \tau_r \frac{\partial^2 \theta_{s,n}^{(i)}}{\partial t^2} + \tau_r \vartheta_n^{(i)} \frac{\partial \theta_{s,n}^{(m_i)}}{\partial t} = \alpha_s^2 \left[\frac{\partial^2 \theta_{s,n}^{(i)}}{\partial \rho^2} + \frac{1}{\rho} \frac{\partial \theta_{s,n}^{(i)}}{\partial \rho} - \frac{n^2}{\rho^2} \theta_{s,n}^{(i)} \right] \quad (9)$$

с початковими умовами

$$\theta_{s,n}^{(i)}(\rho, 0) = 0, \quad \frac{\partial \theta_{s,n}^{(i)}(\rho, 0)}{\partial t} = 0 \quad (10)$$

граничними умовами

$$\int_0^t \frac{\partial \theta_{1,n}^{(i)}}{\partial \rho} \bigg|_{\rho=\rho_0} e^{\frac{\zeta-t}{\tau_r}} d\zeta = W_n^{(i)}, \quad \int_0^t \frac{\partial \theta_{2,n}^{(i)}}{\partial \rho} \bigg|_{\rho=\rho_2} e^{\frac{\zeta-t}{\tau_r}} d\zeta = V_n^{(i)} \quad (11)$$

умовами ідеального теплового контакту

$$\theta_{1,n}^{(i)}(\rho_1, t) = \theta_{2,n}^{(i)}(\rho_1, t) \quad (12)$$

$$\lambda_1 \frac{\partial \theta_{1,n}^{(i)}(\rho_1, t)}{\partial \rho} = \lambda_2 \frac{\partial \theta_{2,n}^{(i)}(\rho_1, t)}{\partial \rho} \quad (13)$$

де $\vartheta_n^{(1)} = -\omega n$; $\vartheta_n^{(2)} = \omega n$; $m_1 = 2$, $m_2 = 1$; ; $i, s=1,2$.

Застосовуємо до системи диференціальних рівнянь (10) с граничними і початковими умовами (10) - (13) інтегральне перетворення Лапласа [6]:

$$\tilde{f}(s) = \int_0^\infty f(\tau) e^{-s\tau} d\tau.$$

В результаті одержуємо систему звичайних диференціальних рівнянь відносно $\tilde{\theta}_{s,n}^{(i)}$:

$$s \tilde{\theta}_{s,n}^{(i)} + \vartheta_n^{(i)} \left(\tilde{\theta}_{s,n}^{(m_i)} + \tau_r s \tilde{\theta}_n^{(m_i)} \right) + \tau_r s^2 \tilde{\theta}_{s,n}^{(i)} = \alpha_s^2 \left[\frac{d^2 \tilde{\theta}_{s,n}^{(i)}}{d\rho^2} + \frac{1}{\rho} \frac{d \tilde{\theta}_{s,n}^{(i)}}{d\rho} - \frac{n^2}{\rho^2} \tilde{\theta}_{s,n}^{(i)} \right] \quad (14)$$

граничними умовами

$$\frac{\partial \tilde{\theta}_{s,n}^{(i)}}{\partial \rho} \bigg|_{\rho=0} = \tilde{W}_n^{(i)}, \quad \frac{\partial \tilde{\theta}_{s,n}^{(i)}}{\partial \rho} \bigg|_{\rho=1} = \tilde{V}_n^{(i)}, \quad (15)$$

умовами ідеального теплового контакту

$$\tilde{\theta}_{1,n}^{(i)}(\rho_1, t) = \tilde{\theta}_{2,n}^{(i)}(\rho_1, t) \quad (16)$$

$$\lambda_1 \frac{\partial \tilde{\theta}_{1,n}^{(i)}(\rho_1, t)}{\partial \rho} = \lambda_2 \frac{\partial \tilde{\theta}_{2,n}^{(i)}(\rho_1, t)}{\partial \rho} \quad (17)$$

$$\text{де } \tilde{W}_n^{(i)} = W_n^{(i)} \left(1 + \frac{1}{s\tau_r} \right); \quad \tilde{V}_n^{(i)} = V_n^{(i)} \left(1 + \frac{1}{s\tau_r} \right); \quad (i=1,2).$$

Для розв'язання крайової задачі (14) - (17) побудуємо інтегральне перетворення:

$$\bar{f}(\mu_{n,k}) = \int_{\rho_0}^{\rho_2} \frac{Q_0(\mu_{n,k}\rho)}{\alpha(\rho)} \rho f(\rho) d\rho = \sum_{s=1}^2 \int_{\rho_{s-1}}^{\rho_s} \frac{Q_s(\mu_{n,k}\rho)}{\alpha_s^2} \rho f(\rho) d\rho, \quad (18)$$

де

$$Q_0(\mu_{n,k}\rho), \quad \alpha(\rho) = \begin{cases} Q_1\left(\frac{\mu_{n,k}}{\alpha_1}\rho\right), & \alpha_1^2 \quad \text{якщо} \quad \rho \in (\rho_0, \rho_1) \\ Q_2\left(\frac{\mu_{n,k}}{\alpha_2}\rho\right), & \alpha_2^2 \quad \text{якщо} \quad \rho \in (\rho_1, \rho_2) \end{cases}.$$

Власні функції $Q_0(\mu_{n,k}\rho)$ і власні значення $\mu_{n,k}$ знаходяться із розв'язку задачі Штурма-Ліувілля:

$$\frac{d^2 Q_s}{d\rho^2} + \frac{1}{\rho} \frac{dQ_s}{d\rho} - \frac{n^2}{\rho^2} + \frac{\mu_{n,k}^2}{\alpha_s^2} Q_s = 0 \quad (19)$$

$$\frac{\partial Q_1\left(\frac{\mu_{n,k}}{\alpha_1}\rho_0\right)}{\partial \rho} = 0, \quad \frac{\partial Q_2\left(\frac{\mu_{n,k}}{\alpha_2}\rho_2\right)}{\partial \rho} = 0, \quad (20)$$

$$Q_1\left(\frac{\mu_{n,k}}{\alpha_1}\rho_1\right) = Q_2\left(\frac{\mu_{n,k}}{\alpha_2}\rho_1\right), \quad \lambda_1 \frac{\partial Q_1\left(\frac{\mu_{n,k}}{\alpha_1}\rho_1\right)}{\partial \rho} = \lambda_2 \frac{\partial Q_2\left(\frac{\mu_{n,k}}{\alpha_2}\rho_1\right)}{\partial \rho}, \quad (s=1,2) \quad (21)$$

Розв'язавши задачу Штурма-Ліувілля (19) - (21) одержуємо:

$$Q_1\left(\frac{\mu_{n,k}}{\alpha_1}\rho\right) = \frac{\Lambda\left(\frac{\mu_{n,k}}{\alpha_1}\rho\right)}{\Lambda\left(\frac{\mu_{n,k}}{\alpha_1}\rho_1\right)}, \quad Q_2\left(\frac{\mu_{n,k}}{\alpha_2}\rho\right) = \frac{\Psi\left(\frac{\mu_{n,k}}{\alpha_2}\rho\right)}{\Psi\left(\frac{\mu_{n,k}}{\alpha_2}\rho_1\right)} \quad (22)$$

$$\text{де } \Lambda\left(\frac{\mu_{n,k}}{\alpha_2}\rho\right) = \frac{\mu_{n,k}}{\alpha_1} \left[Y_n'\left(\frac{\mu_{n,k}}{\alpha_1}\rho_0\right) J_n\left(\frac{\mu_{n,k}}{\alpha_1}\rho\right) - J_n'\left(\frac{\mu_{n,k}}{\alpha_1}\rho_0\right) Y_m\left(\frac{\mu_{n,k}}{\alpha_1}\rho\right) \right];$$

$$\Psi\left(\frac{\mu_{n,k}}{\alpha_2}\rho\right) = \frac{\mu_{n,k}}{\alpha_2} \left[Y'_n\left(\frac{\mu_{n,k}}{\alpha_2}\rho_2\right) J_n\left(\frac{\mu_{n,k}}{\alpha_2}\rho\right) - J'_n\left(\frac{\mu_{n,k}}{\alpha_2}\rho_2\right) Y_n\left(\frac{\mu_{n,k}}{\alpha_2}\rho\right) \right]$$

$J_n(x), Y_n(x)$ – функції Бесселя 1^{го} і 2^{го} роду n порядку відповідно [5].

Власні значення $\mu_{n,k}$ знаходяться із розв'язку трансцендентного рівняння:

$$\frac{\Omega\left(\frac{\mu_{n,k}}{\alpha_1}\rho_1\right)}{\Lambda\left(\frac{\mu_{n,k}}{\alpha_1}\rho_1\right)} = \sigma \frac{H\left(\frac{\mu_{n,k}}{\alpha_2}\rho_1\right)}{\Psi\left(\frac{\mu_{n,k}}{\alpha_2}\rho_1\right)}, \quad (23)$$

$$\text{де } \Omega\left(\frac{\mu_{n,k}}{\alpha_2}\rho\right) = \frac{\mu_{n,k}}{\alpha_1} \left[Y'_n\left(\frac{\mu_{n,k}}{\alpha_1}\rho_0\right) J'_n\left(\frac{\mu_{n,k}}{\alpha_1}\rho\right) - J'_n\left(\frac{\mu_{n,k}}{\alpha_1}\rho_0\right) Y_n\left(\frac{\mu_{n,k}}{\alpha_1}\rho\right) \right];$$

$$H\left(\frac{\mu_{n,k}}{\alpha_2}\rho\right) = \frac{\mu_{n,k}}{\alpha_2} \left[Y'_n\left(\frac{\mu_{n,k}}{\alpha_2}\rho_2\right) J'_n\left(\frac{\mu_{n,k}}{\alpha_2}\rho\right) - J'_n\left(\frac{\mu_{n,k}}{\alpha_2}\rho_2\right) Y_n\left(\frac{\mu_{n,k}}{\alpha_2}\rho\right) \right]; \sigma = \frac{\lambda_2}{\lambda_1}.$$

Формула оберненого перетворення має вигляд:

$$f(\rho) = \sum_{n=1}^{\infty} \frac{Q_0(\mu_{n,k}\rho)}{\|Q_0(\mu_{n,k}\rho)\|^2} \bar{f}(\mu_{n,k}) \quad (24)$$

Квадрат норми власної функції $\|Q_0(\mu_{n,k}\rho)\|^2$ дорівнює:

$$\begin{aligned} \|Q_0(\mu_{n,k}\rho)\|^2 &= \sum_{s=1}^2 \frac{1}{\alpha_s^2} \int_{\rho_{s-1}}^{\rho_s} [Q_s(\mu_{n,k}\rho)]^2 \rho \, d\rho = \\ &= \frac{\rho_1^2}{2\alpha_1^2} \left\{ \left(1 - \frac{n^2\alpha_1^2}{\mu_{n,k}^2\rho_1^2} \right) + \left[\frac{\alpha_1\Omega\left(\frac{\mu_{n,k}}{\alpha_2}\rho_1\right)}{\mu_{n,k}\Lambda\left(\frac{\mu_{n,k}}{\alpha_2}\rho_1\right)} \right]^2 \right\} - \frac{\rho_0^2}{2\alpha_1^2} \cdot \\ &\quad \left(1 - \frac{n^2\alpha_1^2}{\mu_{n,k}^2\rho_0^2} \right) \left[\frac{\Lambda\left(\frac{\mu_{n,k}}{\alpha_1}\rho_0\right)}{\Lambda\left(\frac{\mu_{n,k}}{\alpha_1}\rho_1\right)} \right]^2 + \frac{\rho_2^2}{2\alpha_2^2} \left(1 - \frac{n^2\alpha_2^2}{\mu_{n,k}^2\rho_2^2} \right) \left[\frac{\Psi\left(\frac{\mu_{n,k}}{\alpha_2}\rho_2\right)}{\Psi\left(\frac{\mu_{n,k}}{\alpha_2}\rho_1\right)} \right]^2 - \\ &\quad - \frac{\rho_1^2}{2\alpha_2^2} \left\{ \left(1 - \frac{n^2\alpha_2^2}{\mu_{n,k}^2\rho_1^2} \right) + \left[\frac{H\left(\frac{\mu_{n,k}}{\alpha_2}\rho_1\right)}{\Psi\left(\frac{\mu_{n,k}}{\alpha_2}\rho_1\right)} \right]^2 \right\}. \end{aligned}$$

Застосовуємо до системи диференціальних рівнянь (14) інтегральне перетворення (18), де власні функції $Q_s \left(\frac{\mu_{n,k}}{\alpha_s} \rho \right)$ визначаються по формулам (22), а власні значення $\mu_{n,k}$ знаходяться із розв'язку трансцендентного рівняння (23) і враховуючи позначення (1), в результаті одержуємо систему звичайних алгебраїчних рівнянь відносно $\bar{\theta}_n^{(i)}$:

$$s \bar{\theta}_n^{(i)} + \vartheta_n^{(i)} \left(\bar{\theta}_n^{(m_i)} + \tau_r s \bar{\theta}_n^{(m_i)} \right) + \tau_r s^2 \bar{\theta}_n^{(i)} = q_{n,k} \left(\frac{\Omega_{n,k}^{(i)}}{\mu_{n,k}^2} - \bar{\theta}_n^{(i)} \right) \quad (25)$$

де $q_{n,k} = \mu_{n,k}^2$; $\Omega_{n,k}^{(i)} = \rho_0 Q_1 \left(\frac{\mu_{n,k}}{\alpha_1} \rho_0 \right) \tilde{W}_n^{(i)} + Q_2 \left(\frac{\mu_{n,k}}{\alpha_2} \right) \tilde{V}_n^{(i)}$; $i=1,2$.

Розв'язавши систему рівнянь (25) одержуємо:

$$\bar{\theta}_n^{(i)} = \frac{\Omega_{n,k}^{(i)} \left(\tau_r s^2 + s + q_{n,k} \right) + (-1)^{i+1} \omega n \tilde{V}_n^{(m_i)} \Omega_{n,k}^{(m_i)} (1 + s \tau_r)}{\left(\tau_r s^2 + s + q_{n,k} \right)^2 + \omega^2 n^2 (1 + s \tau_r)^2}. \quad (i=1,2) \quad (26)$$

Застосовуючи до зображення функцій (26) формули оберненого перетворення Лапласа одержуємо оригінали функцій:

$$\begin{aligned} \bar{\theta}_n^{(1)}(\mu_{n,k}, t) &= \sum_{j=1}^2 \zeta_{n,k}(s_j) \cdot \left\{ \Omega_{n,k}^{(1)}(s_j) \cdot \left[(2\tau_r s_j + 1) + \tau_r \omega n I \right] + \Omega_{n,k}^{(2)}(s_j) \cdot \left[\tau_r \omega n - (2\tau_r s_j + 1) I \right] \right\} \cdot \\ &\quad \left(e^{s_j t} - 1 \right) + \sum_{j=3}^4 \zeta_{n,k}(s_j) \cdot \left\{ \Omega_{n,k}^{(1)}(s_j) \cdot \left[(2\tau_r s_j + 1) - \tau_r \omega n I \right] + \Omega_{n,k}^{(2)}(s_j) \cdot \left[\tau_r \omega n + (2\tau_r s_j + 1) I \right] \right\} \cdot \\ &\quad \cdot \left(e^{s_j t} - 1 \right), \end{aligned} \quad (27)$$

$$\begin{aligned} \bar{\theta}_n^{(2)}(\mu_{n,k}, t) &= \sum_{j=1}^2 \zeta_{n,k}(s_j) \cdot \left\{ \Omega_{n,k}^{(2)}(s_j) \cdot \left[(2\tau_r s_j + 1) + \tau_r \omega n I \right] - \Omega_{n,k}^{(1)}(s_j) \cdot \left[\tau_r \omega n - (2\tau_r s_j + 1) I \right] \right\} \cdot \\ &\quad \left(e^{s_j t} - 1 \right) + \sum_{j=3}^4 \zeta_{n,k}(s_j) \cdot \left\{ \Omega_{n,k}^{(2)}(s_j) \cdot \left[(2\tau_r s_j + 1) - \tau_r \omega n I \right] - \Omega_{n,k}^{(1)}(s_j) \cdot \left[\tau_r \omega n + (2\tau_r s_j + 1) I \right] \right\} \cdot \\ &\quad \left(e^{s_j t} - 1 \right), \end{aligned} \quad (28)$$

де $\zeta_{n,k}(s_j) = \frac{0.5 s_j^{-1}}{(2\tau_r s_j + 1)^2 + (\tau_r \omega n)^2}$, а значення s_j для $j=1,2,3,4$ визна-

чаються за формулами

$$s_{1,2} = \frac{(\tau_r \omega n i - 1) \pm \sqrt{(1 + \tau_r \omega n i)^2 - 4\tau_r q_{n,k}}}{2\tau_r}, \quad s_{3,4} = \frac{(\tau_r \omega n i + 1) \pm \sqrt{(1 - \tau_r \omega n i)^2 - 4\tau_r q_{n,k}}}{2\tau_r}.$$

Таким чином з урахуванням формул обернених перетворень (8) і (24) одержуємо температурне поле кусково-однорідного кругового циліндра в напрямку полярного радіуса, який обертається з постійною кутовою швидкістю ω навколо осі OZ, з урахуванням кінцевої швидкості поширення тепла:

$$\theta(\rho, \phi, t) = \sum_{n=-\infty}^{+\infty} \left\{ \sum_{k=1}^{\infty} \left[\bar{\theta}_n^{(1)}(\mu_{n,k}, t) + I \cdot \bar{\theta}_n^{(2)}(\mu_{n,k}, t) \right] \frac{Q_0(\mu_{n,k}\rho)}{\|Q_0(\mu_{n,k}\rho)\|^2} \right\} \cdot \exp(in\phi), \quad (29)$$

де значення $\bar{\theta}_n^{(1)}(\mu_{n,k}, t)$ і $\bar{\theta}_n^{(2)}(\mu_{n,k}, t)$ визначаються по формулам (27), (28).

Висновки. У статті за допомогою розробленого нового інтегрального перетворення знайдено температурне поле (29), порожнього кусково-однорідного кругового циліндра в напрямку полярного радіуса, який обертається з постійною кутовою швидкістю ω навколо осі OZ, з урахуванням кінцевої швидкості поширення тепла, у вигляді збіжних ортогональних рядів по функціям Бесселя і Фур'є. Знайдений аналітичний розв'язок узагальненої крайової задачі теплообміну циліндра, який обертається, з урахуванням скінченності величини швидкості поширення тепла може знайти застосування при модулюванні температурних полів, які виникають у багатьох технічних системах (в супутниках, прокатних валках, турбінах і т.і.).

ЛІТЕРАТУРА

1. Бердник М. Г. Математичне моделювання тривимірної узагальненої задачі теплообміну суцільного циліндра, який обертається / Бердник М. Г. // Питання прикладної математики і математичного моделювання. - 2014. - С. 26-35.
2. Конет І. М. Гіперболічні крайові задачі в необмежених тришарових областях / І. М. Конет, М. П. Ленюк. - Львів, 2011. - 48 с. - (Препр./ НАН України Ін-т прикладних проблем механіки і математики ім. Я. С. Підстригача; 01.11).
3. Голицына Е. В. Математическое моделирование температурного поля в полом вращающемся цилиндре при нелинейных граничных условиях / Е.В. Голицына // Теплофизика высоких температур. Ноябрь-Декабрь. - 2008. - том 46, № 6. - С. 905 - 910.
4. Громик А. П. Нестационарні задачі теплопровідності в кусково-однорідних просторових середовищах / А. П. Громик, І. М. Конет. - Кам'янець-Подільський : Абетка-Світ. - 2009. - 120 с.
5. Маркович Б. М. Рівняння математичної фізики / Маркович Б. М. - Львів: Вид-во Львівської політехніки. - 2010. - 384 с.
6. Лопушанська Г.П. Перетворення Фур'є, Лапласа: узагальнення та застосування / Г.П. Лопушанська, А.О., Лопушанський, О.М. М"яус. - Львів.: ЛНУ ім. Івана Франка. - 2014. - 152 с.

A.I. Ivon, Y.A. Ivon, R.I. Lavrov

**SOFTWARE FOR DETERMINING LINEAR RESISTANCE
LIMITING THE BARRIER CURRENT
IN VARISTOR MATERIALS**

Abstract. A program for determining linear resistance limiting the barrier current in varistor materials was developed with the usage of HTML, CSS, JavaScript and jQuery library. The program calculates this resistance based on the data, obtained at scanning raster images of analog oscillograms, registered at a strong electric current for a sample of a varistor material. Any Internet browser can be used as a software environment for the program presented in this work.

Keywords: software, languages HTML, CSS, JavaScript, library jQuery, varistor materials.

Introduction. Ceramic materials based on zinc oxide (ZnO) are used for varistor production [1]. Varistors have found wide application in protecting electronic and electrotechnical devices from overvoltage. In particular, varistors are used for protecting power supplies of modern computers from overvoltage.

The intergranular Schottky barriers are a cause of high nonlinearity of the current-voltage characteristic (CVC) of varistor material [1]. Such barriers are formed in the near-surface region of ZnO grains. These barriers define CVC of varistors in the region of current density of $10^{-13} - 10 \text{ A cm}^{-2}$. The nonlinear resistance of near-surface regions of ZnO grains with barriers becomes comparable to the linear resistance of grains volume at electric currents more than 10 A cm^{-2} . Since the volume resistance of grains connects with barriers in series, it limits the electric current through barriers. Therefore, at the region of strong electric current, the nonlinearity of CVC decreases when the current increases. This region of current may be used to determine the linear resistivity ρ_{lin} limiting the electric current through barriers in ceramic varistor materials [2]. Volume resistivity of grains ρ_g in varistor ceramics determines the value of ρ_{lin} at a strong electric current.

The work [3] presents an approach to calculating ρ_g by scanning raster images of analog oscillograms obtained at applying a single voltage pulse of exponential form to a sample. This method uses special Microsoft Excel templates. Creation of a software for scanning oscillogram raster images and calculating the linear resistivity ρ_{lin} on the basis of scanned data is of interest. HTML, CSS, JavaScript languages and jQuery library give certain possibilities for solving such task. With HTML and CSS a convenient user interface can be created. Scripts implemented with JavaScript and jQuery allow loading raster images, performing scanning and conducting necessary calculations using the scanned data. Any Internet browser can be used as a software environment for the program created by the means mentioned above.

Problem statement. The aim of this work is development of a software intended for scanning raster images of analog oscillograms and calculating the linear resistivity limiting the barrier current in varistor materials. The calculation should be done based on the scanned data.

Major part. A method of determining linear resistivity ρ_{lin} is based on the relationship between differential resistivity ρ_{dif} and electric current density J in ceramic varistor materials. An equation describing such dependence is [2]:

$$\rho_{dif} = \rho_{lin} + A^* J^{-1}, \quad (1)$$

where A^* is a constant.

As it follows from the equation (1), ρ_{dif} has a linear relationship with the inverse current density J^{-1} . Therefore, the linear resistivity ρ_{lin} limiting the barrier current in the region of current density $J_1 \leq J \leq J_K$ can be found by building a relationship $\rho_{dif} \sim J^{-1}$ using a region of CVC for this interval of current density. Linear extrapolation of such dependence to the value $J^{-1} = 0$ allows to determine ρ_{lin} . A region of current-voltage characteristic in any range of electric current can be registered by applying a single pulse of exponential form to a sample. Voltage and current oscillograms obtained this way represent CVC in parametric form, where time t is a parameter. These oscillograms allow to build the dependence (1) and to determine ρ_{lin} value for the given interval of electric current density.

In this work, oscillograms of voltage and current were registered with the analog double-beam storage oscilloscope C8-11. Raster images

of oscillograms for further processing by the program were obtained with the digital photo-camera “OLYMPUS”. Raster images of the calibration voltage and the calibration electric current were used for determining scale factors M_U and M_I . The program calculates the values of M_U and M_I using the data scanned from these raster images. These scale factors are necessary for determining instantaneous values of voltage U_j and electric current I_j . Fig. 1 shows typical raster images of oscillograms for calibration voltage and calibration current, as well as raster image of oscillograms obtained at applying a single voltage pulse of the exponential form to a sample.

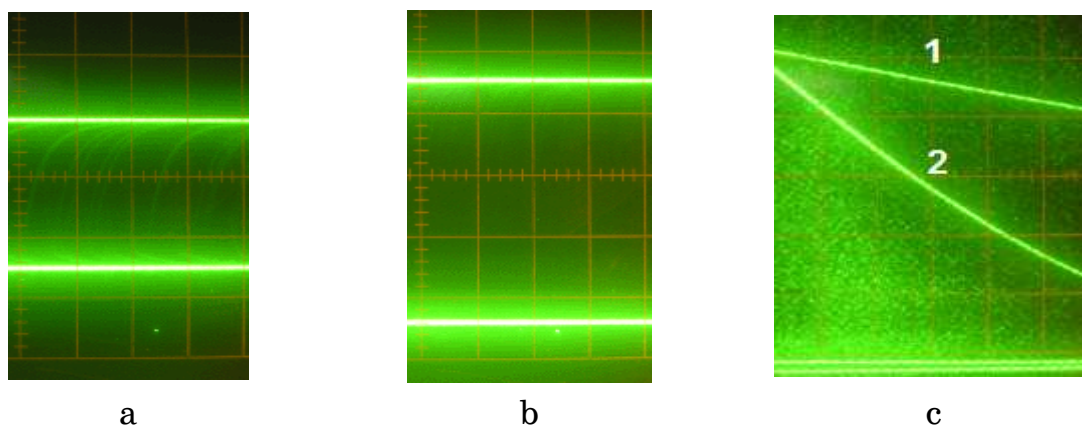


Figure 1 - Raster images of oscillograms: a – calibration voltage (100 V between lines); b – calibration electric current (10 A between lines); c – voltage (1) and current (2) at applying a single voltage pulse of the exponential form to a sample. Straight lines in a bottom of oscillograms (1, 2) give zero levels for current and voltage.

The scale of sweep – 10 μ s/ division

Scanning of oscillograms raster images (Fig. 1 c) was performed with step of 50 pixels in the positive direction of the time axis. Arrays of pixel coordinates YU_j , YI_j , XT_j ($1 \leq j \leq K$) are the outcomes of scanning. Program uses these arrays for calculating linear resistivity ρ_{lin} . Arrays of coordinates YU_j and YI_j correspond to voltage and electric current of a sample, accordingly. An array XT_j corresponds to the points in time when instantaneous values of voltage U_j and current I_j were registered. Coordinates of zero lines for voltage YU_Z and for electric current YI_Z are determined by scanning too. Using the scanned data, the program calculates values of differential resistance R_{difi} and current I_i ($1 \leq i \leq N$). For this purpose, it uses scale factors M_U and M_I ,

which were found from the scan data obtained from the raster images shown on Fig. 1a and Fig. 1b. In addition, the program uses arrays of coordinates YU_j , XT_j ($1 \leq j \leq K$) for calculating the time constant τ for a voltage pulse of the exponential form. The calculation is done using the method described in [4].

The program uses increments of voltage and current for calculating the differential resistance R_{difi} ($1 \leq i \leq N$). These increments are determined by changing the index j for arrays YU_j , YI_j , XT_j with a step equal l . Therefore, if such arrays have a quantity of elements K , then the quantity of elements in the arrays R_{difi} , I_i is determined as $N = K - l$. In the program described in this work we used the values $K = 13$ and $l = 3$. It ensured the quantity of elements $N = 10$ for the arrays R_{difi} and I_i .

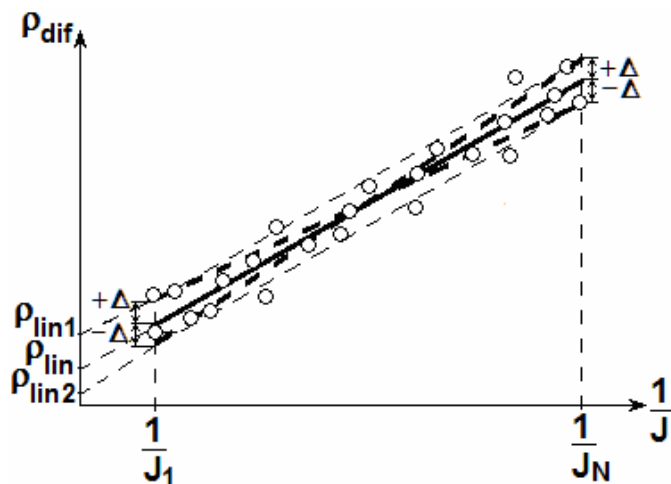
The differential resistance R_{difi} and the electric current I_i were calculated as

$$R_{difi} = \frac{M_U(YU_{j+l} - YU_j)}{M_I(YI_{j+l} - YI_j)}, \quad (2)$$

$$I_i = \frac{1}{2} M_i(2YI_z - YI_{j+l} - YI_j). \quad (3)$$

Based on these formulas, taking into account geometrical sizes of a sample (L – thickness, S – area of electrodes), the program calculates the arrays ρ_{difi} and $1/J_i$ ($1 \leq i \leq N$). Further, it performs linear regression using the least squares method for obtaining $\rho_{dif} = aJ^1 + b$ from the calculated data. According to the equation (1), b factor is the linear resistivity ρ_{lin} which limits the current through barriers in the range of electric current density $J_1 \leq J \leq J_N$.

In Fig. 2 $\rho_{dif} = aJ^1 + b$ obtained by the least squares method is shown as a thick solid straight line. Extrapolation of this straight line to $1/J = 0$ allows to determine the value of ρ_{lin} . The program uses the least squares method for calculating the value $b = \rho_{lin}$ on the basis of arrays ρ_{difi} and $1/J_i$ ($1 \leq i \leq N$).

Figure 2 - Calculation of the error in ρ_{lin}

The mean-square deviation Δ of the array elements $\rho_{difi}(1/J_i)$ ($1 \leq i \leq N$) from the regression line can be calculated by the formula

$$\Delta = \pm \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (\rho_{difi} - a \frac{1}{J_i} - b)^2}. \quad (4)$$

The value of Δ gives the possibility to estimate absolute and relative errors in resistivity ρ_{lin} . As it can be seen in Fig. 2, different straight lines can be drawn through the range boundaries $1/J_1 \leq 1/J \leq 1/J_N$, taking into account Δ parameter. These straight lines are located between the lines presented in the Fig. 2 by thick and thin dashed lines. Therefore, the positive absolute error is the difference $\rho_{lin1} - \rho_{lin}$ and the negative absolute error is the difference $\rho_{lin2} - \rho_{lin}$ (Fig. 2). These differences can be found by calculating the values of constants $b_1 = \rho_{lin1}$ and $b_2 = \rho_{lin2}$ for straight lines shown by the thick dashed lines in the Fig. 2. The moduli of such differences are equal. Calculation has shown, that the absolute error in the linear resistivity ρ_{lin} limiting the barrier current in varistor materials is described by the expression:

$$\Delta \rho_g = \pm \Delta \frac{J_1 + J_N}{J_1 - J_N}. \quad (5)$$

Taking into account that $b = \rho_{lin}$ the relative error is equal

$$\delta = \pm \frac{\Delta(J_1 + J_N)}{b(J_1 - J_N)} 100\%. \quad (6)$$

Figure 3 shows a window of the program at the final stage of its execution. The program is opened in Opera browser. The program has

menu options allowing to open a raster image and to control the data processing. Current cursor coordinates are shown in the top-left corner of the window. By clicking left mouse button these coordinates can be registered in the table located below. The menu option “Обзор” is intended for opening files of raster images in the browser window. It provides access to the file system of a computer by means of a script using FileReader object. «Инструментарий» is a component for performing different stages of data processing (Fig. 3). It contains control buttons and form fields for entering initial data and displaying output of processing outcomes. A detailed user instruction is displayed in this component for every stage of data processing.

The program has nine consecutive stages of processing: 1) Loading a raster image to the browser window; 2). Entering thickness L and area of electrodes S for a sample of varistor ceramics; 3). Determining a scale factor for voltage M_U ; 4) Determining a scale factor for electric current M_I ; 5). Scanning coordinates for zero level of voltage YU_Z ; 6). Scanning coordinates for zero level of current YI_Z ; 7) Determining a scale factor for time M_T ; 8). Scanning voltage and current oscillograms of a sample being examined (Fig. 1c); 9). Running necessary calculations based on the scanned data using the formulas mentioned above.

At the final stage, after a click on the button “Вычислить ρ_0 ”, the processing outcomes are shown in the fields of the form (Fig. 3). The field «tau=» shows the time constant τ of the exponential impulse used for obtaining oscillograms of voltage and current for a sample of varistor ceramics. The fields « ρ_0 =» shows the value of ρ_{lin} and its absolute error. The value of relative error in ρ_{lin} is displayed in the field «Ошибка ρ_0 =». Moreover, at the final stage of processing, the program opens windows for displaying the range of current density $J_1 \leq J \leq J_K$ where the value ρ_{lin} was determined, the average current density and the range of the nonlinearity factor of CVC in the interval $J_1 \leq J \leq J_K$ (Fig. 3).

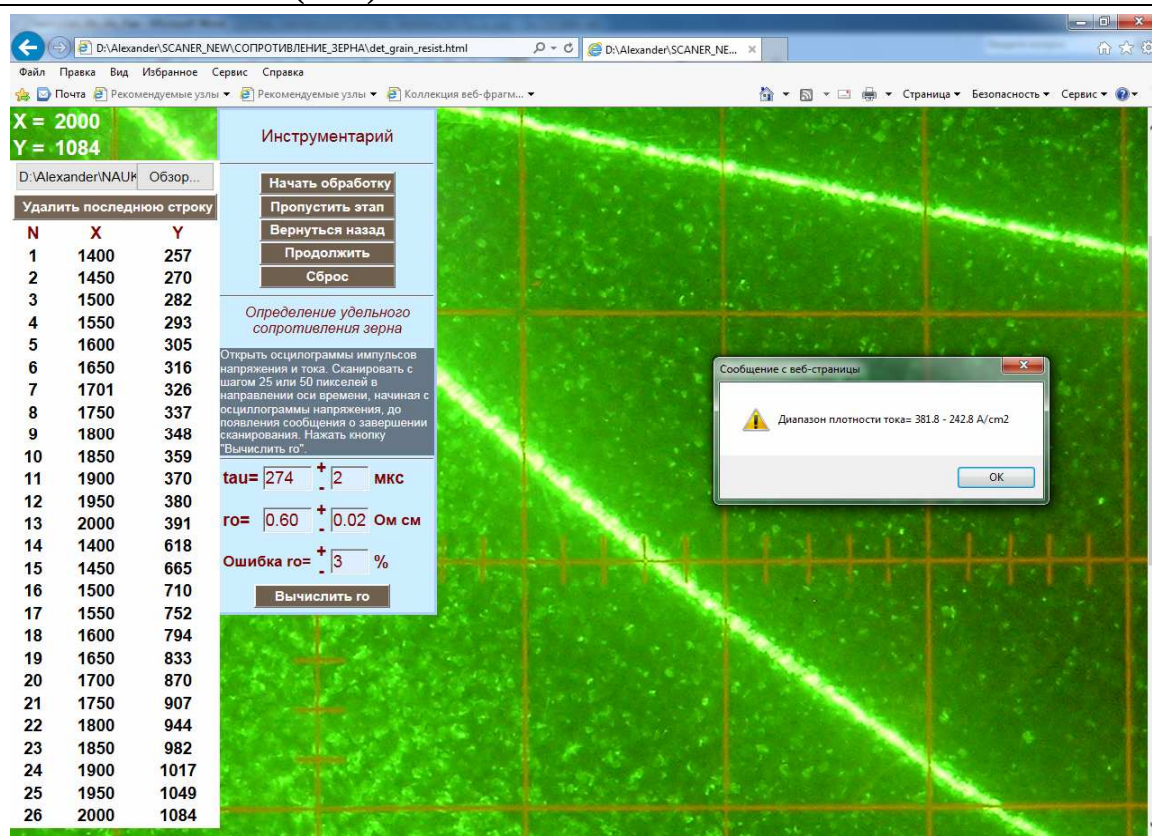


Figure 3 - Window of program at the final stage of execution

Separate scripts implemented with JavaScript and jQuery support every stage of processing of the raster images oscillograms (Fig. 1). Scripts are triggered by events, associated with mouse. Event “mouse-move” runs the script for determining current coordinates of the raster image. It uses properties “offsetX” and “offsetY” of the “event” object to get the current coordinates. A script intended for recording scan data to the table uses these properties too. It is triggered by “click” event, associated with a left mouse button click in a chosen point of the raster image. Menu item «Удалить последнюю строку» is used for data correction in the table of coordinates (Fig. 3). Menu items «Вернуться назад» and «Продолжить» are used for returning to the previous stage and for continuing the processing after data correction. Any stage of processing can be skipped by a click on the menu item «Пропустить этап». The program interface contains a menu item «Сброс» for cleaning all form fields and the table. The program returns to the initial stage at a click on this menu item.

Conclusions. A program for determining linear resistivity ρ_{lin} limiting the barrier current in varistor materials was created by means of HTML, CSS, JavaScript languages and jQuery library. In the program, determination of ρ_{lin} is performed by scanning raster images of oscillograms. The program uses oscillograms of voltage and current obtained in the region of strong current at applying a single pulse of exponential form to a sample. Any Internet browser can be used as a software environment for the designed program.

REFERENCES

1. Gupta T. K. Application of zinc oxide varistors [Text] / T. K. Gupta // J. Am. Ceram. Soc., 1990. –V. 73(7). – P. 1817-1840.
2. Ivon A.I. High-current measurement of the grain resistivity in zinc oxide varistor ceramics [Text] / A.I. Ivon, R.I. Lavrov, A.B. Glot. // Ceram. Int., 2013. – V. 39. P. 6441–6447.
3. Ivon A.I. The computer data processing at determining of the grain's resistivity in varistor materials [Text] / A.I. Ivon, V.F. Istushkin, R.I. Lavrov // System technologies: coll. articles. – Dnepropetrovsk, 2014. – Issue 1 (90).– P. 10 – 17.
4. Ivon A.I. Using of raster images for measurement of time constant τ of exponential pulses [Text] / A.I. Ivon, V.F. Istushkin, R.I. Lavrov//System technologies: coll. Articles.–Dnepropetrovsk,2016.–Issue 1'(102).–P.17– 23.

A.I. Ivon, V.F. Istushkin

DIGITIZATION OF OSCILLOGRAMS BY RASTER IMAGES FOR RISING OF ACCURACY AT SIGNAL PARAMETERS DETERMINATION

Abstract. Digitization method of analog oscillograms by the raster images was investigated as a tool for rising of accuracy at signal parameters determination. As was shown, the raster images of oscillograms at determining signal time parameters allow providing the measurement accuracy on a level of digital frequency meters.

Key words: digitization, raster image, analog oscillogram, time parameters of signal.

Introduction. Raster images are an effective method for digitization of experimental data obtained in the image form. Microscopy data, the oscillograms obtained by analog oscilloscope, the satellite images and other relate to such data. For digitization of experimental image it is necessary to take a picture by a digital camera. As was shown in [1], the relative error at determining instantaneous voltages may be lower $\pm 1.5\%$ if to use a raster image of oscillogram obtained by the analog oscilloscope. Processing of experimental data obtained in the form of raster image is performed by scanning of the necessary coordinates for a studied object. Parameters of object can be calculated by scan coordinates using the scale factors determined previously. These scale factors can be found by scanning of the calibration signal or by scanning of the length scale. Scanning can be performed at using graphics editors or specific programs [2].

Problem statement. The aim of present work is a comparative analysis of the signals parameters found from the raster images of oscillograms obtained by analog oscilloscope and the same parameters measured by digital frequency meter ЧЗ – 34.

Major part. The determining of object parameters in the raster image is based on coordinates scanning. If coordinates scanning is executed for two points of a raster image, then these coordinates allow de-

termining such parameters of object as the length, the instantaneous value of signal voltage, the duration of time interval. As it shown in [3], if we execute a scanning of coordinates for many points on the object border, then the object area can be determined.

First of all it is necessary to define the scale factor M_C for a calculation of the object parameters by scanned coordinates. Raster images containing the calibration voltage or the length scale can be used for this aim. If perform a scanning of coordinates at the ends of such intervals $(x1_C; y1_C; x2_C; y2_C)$, then M_C can be found as

$$M_C = L_C / \left| \sqrt{(x1_C - x2_C)^2 + (y1_C - y2_C)^2} \right|, \quad (1)$$

where L_C is a value of calibration voltage, length scale or calibration time interval.

In this work for determining the signal time parameters (frequency, period and duration) were used the raster images of analog oscillograms. These oscillograms were registered by means of oscilloscope C8 – 11. Raster images of oscillograms were obtained by means of the digital camera “OLYMPUS”. For a comparative analysis of the signal parameters obtained from the raster images same parameters were measured by means of frequency meter ЧЗ-34.

The calibrated rectangular pulse with duration $L_{CT} = 577.3 \mu s$ was used for determining the time scale M_{CT} (Fig.1). Scanning of a pulse fronts on the level of 0.5 amplitude allows defining the value $M_{CT} = 0.4567 \mu s/\text{pixel}$ for the given sweep of oscilloscope. This oscilloscope sweep was saved at the oscillograms registration for all signals investigated in the present work.

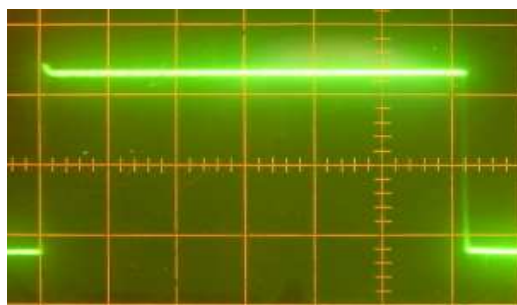


Figure1 - Raster image of the calibrated rectangular pulse

For determining the signal time parameters, a scanning of the oscillogram raster images was performed by means of the program de-

scribed in [2]. Scan was executed along the oscilloscope time axis in two points corresponding to a period or duration of investigated signal.

From the scanning data a value of the time interval Δt is defined as

$$\Delta t = M_{CT} \cdot |x1 - x2|, \quad (2)$$

where $x1$ and $x2$ are coordinates in pixels for the interval ends. These coordinates must be obtained at $y1 = y2$.

It should be noted, that the absolute error in scanning of the raster images amounts ± 1 pixel. If a thickness of line for oscillogram is identical in a range of oscilloscope display and has the clearly defined edges, then the absolute error in determining the interval length by raster image must be about ± 2 pixels. In this case the relative error δ_T can be found on the basis of equation (2) as

$$\delta_T = \pm \frac{2}{|x1 - x2|} \cdot 100\%. \quad (3)$$

As it follows from the equation (3), the relative error in determining of a time interval is decreasing inversely with increasing of the interval length $|x1 - x2|$. The value $|x1 - x2|$ in pixels must be greater for digital photo cameras with a greater resolution for a same interval Δt . Therefore application of photo cameras with a greater resolution for obtaining the raster images of analog oscillograms reduces the relative error in determining of time intervals too.

Fig. 2 shows the window of program used for scanning of oscillograms in the raster image [2].

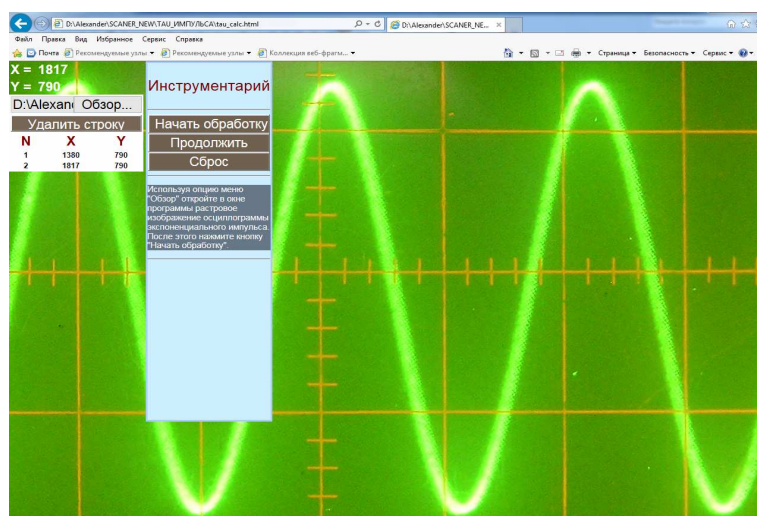


Figure 2 - Window of program with the scanning data of sinusoidal signal

For a signal shown in the Fig. 2, the relative error in determining of period by the scan data is equal $\pm 0,2\%$, as it was obtained from the equation (3).

The time parameters for different signals tested in the present work were measured by means of the frequency meter ЧЗ – 34. Table 1 shows a comparison of signals parameters calculated from the scan data of oscillograms in raster image and the same parameters measured by a frequency meter. The “Deviation” columns show the deviations (in percents) for parameters measured by a frequency meter and the same parameters obtained at using the raster images of oscillograms. This deviation no more than 1 %, as it can see from the table 1.

Table 1

Comparative table of the signal time parameters

Period, μs		Deviation %	Frequency, kHz		Deviation %	Duration, μs		Deviation %	Type of signal
ЧЗ-34	Raster image		ЧЗ-34	Raster image		ЧЗ-34	Raster image		
–	494.6	–	2.003	2,022	+0.95	–	–	–	Sinusoidal
–	199.6	–	4.991	5,011	+0.40	–	–	–	Sinusoidal
–	99.41	–	10.052	10,06	+0.08	–	–	–	Sinusoidal
–	71.20	–	14.006	14,04	+0.23	–	–	–	Sinusoidal
–	59.92	–	17.856	17,89	+0.19	–	–	–	Sinusoidal
–	–	–	–	–	–	293.7	296.4	+0.92	Rectangular pulse
191.4	191.8	+ 0.21	5.219	5.214	–0.10	71.40	71.21	–0.28	Rectangular pulse

Conclusions. The raster images of analog oscillograms allow determining the signal time parameters with the accuracy close to accuracy of a digital frequency meter.

REFERENCES

1. Ivon A.I. Application of bitmaps for increasing data processing accuracy in physical experiment [Text] / A.I. Ivon, Y.A. Ivon, Lavrov R.I. // System technologies: coll. Articles.–Dnepropetrovsk, 2014.–Issue 1 (90).–P.10–17.
2. Ivon A.I. Using of raster images for measurement of time constant τ of exponential pulses [Text] / A.I. Ivon, V.F. Istushkin, R.I. Lavrov // System technologies: coll. Articles.–Dnepropetrovsk, 2016.–Issue 1' (102).–P. 17 – 23.
3. Ivon A.I. Measurement of geometric parameters of plane figures in raster images [Text] / A.I. Ivon, V.F. Istushkin, A.A. Lischenko // System technologies: coll. Articles.–Dnepropetrovsk, 2016.–Issue 1' (102).–P. 24 – 28.

Д.К. Ковальов, С.М. Вовк

КОМП'ЮТЕРНА СИСТЕМА ДЛЯ ЗЧИТУВАННЯ ДРУКОВАНОГО ТЕКСТУ ТА ЙОГО КОРИГУВАННЯ

Анотація. Пропонується комп'ютерна система для зчитування та коригування друкованого тексту на основі бібліотек з відкритим програмним кодом Tesseract-OCR, EmguCV та NHunspell. Система розроблена на базі програмної платформи Microsoft .NET Framework та дозволяє вводити зображення з друкованим текстом (фото, відсканована сторінка тощо) у стандартних графічних форматах, виконувати його розпізнавання, перевіряти отриманий текст на орфографічні помилки та виправляти їх. Система підтримує автоматичний режим коригування тексту та інтерактивний режим для самостійного виправлення помилок.

Ключові слова: розпізнавання тексту, перевірка орфографії, Tesseract-OCR, EmguCV, NHunspell.

Вступ

Інтелектуальна обробка друкованих текстів є одним із найважливіших напрямків у галузі сучасних інформаційних технологій, що пов'язані з документообігом та автоматизацією відповідних процесів. Актуальність та важливість розвитку даного напрямку обумовлена як необхідністю створення цифрових бібліотек зі старих друкованих книг й видань, так і необхідністю покращення візуальної якості документів з низьким рівнем контрасту та, в цілому, підвищення ефективності процесів документообігу. В поданій роботі пропонується комп'ютерна система для зчитування та коригування друкованого тексту, яка створена на основі бібліотек з відкритим програмним кодом Tesseract-OCR, EmguCV та NHunspell.

Постановка задачі

Постановка задача полягає у створенні комп'ютерної системи з відкритим програмним кодом, яка дозволяє вирішувати задачі введення та попередньої обробки зображення з друкованим текстом, розпізнавання тексту на зображенні й роботи зі словником для перевірки та коригування отриманого тексту.

Основна частина

Розв'язок поставленої задачі вимагає наявності двох основних програмних компонентів, які повинні опрацьовувати вхідне зображення та отриманий з нього текст, відповідно.

Перший програмний компонент може бути розроблений у такий спосіб. Для введення зображень з друкованим текстом є доцільним використання стандартного компоненту System.Drawing платформи .NET Framework 4.0, який дозволяє вводити зображення за форматами JPEG, BMP, TIF, PNG, GIF тощо. Наступним кроком опрацювання вхідного зображення є його попередня обробка з метою вирівнювання контрасту та зменшення шуму. Для виконання попередньої обробки зображень можна використати функції бібліотеки комп'ютерного зору EmguCV, яка є адаптованою версією бібліотеки OpenCV. Це є доцільним і тому, що EmguCV може працювати з .NET-сумісними мовами, такими як C#, VB, VC++ і т.д. та працює з Windows, Linux, Android і Windows Phone. Використання цієї бібліотеки дозволяє спростити архітектуру комп'ютерної через використання готових до роботи алгоритмів попередньої обробки зображень. Останнім кроком попередньої обробки є виконання бінаризації зображення. Одним з найкращих алгоритмів бінаризації вважається алгоритм Отцу [1].

На етапі розпізнавання тексту на зображенні та його конвертації в електронний вигляд традиційним є використання технології OCR (Optical Character Recognition). В даній роботі використовувалася безкоштовна OCR-бібліотека Tesseract від Google [2], [3]. Ця бібліотека формує блоги (з англ. «blob») – текстові рядки, в яких визначається фіксований розмір кроку між символами. Саме визначення дистанцій між символами дозволяє правильно відрізнити пробіли між словами від стандартної дистанції між літерами одного слова. Далі в одному рядку формуються символні комірки з контурами літер (одна літера в комірці). Після виконання зазначеного перетворення, розпізнавання проводиться в два етапи. На першому етапі кожне слово розпізнається шляхом порівняння контурів його літер з еталонами в допоміжних файлах Tesseract. В ході розпізнавання, для кожної літери формується її еталон в межах поточного зображення. Після цього проводиться другий етап, яким є нове розпізнавання, де враховуються поточні еталони. Це покращує якість розпізнавання контуру

літери та дає більш точний результат. На другому етапі перевіряються області між комірками, в яких можуть міститися знаки пунктуації, крапки літер на зразок умляют (ь, ц, д), тощо.

Другий програмний компонент системи призначений для перевірки тексту та коригування орфографічних помилок. Для рішення цієї задачі доцільним є використання програмного додатку NHunspell [4]. NHunspell є вільною в застосуванні програмою-словником перевірки орфографії, що призначена для мов зі складною системою словотворення і великою морфологією. Для перевірки орфографії додаток NHunspell потребує два файли. Перший файл містить слова, а другий є файлом афіксів, який визначає значення спеціальних міток (прапорців) в словнику. Файл словника (.dic) містить список слів, по одному слову в рядку, а файл афіксів (.aff) може містити необов'язкові атрибути. Наприклад, атрибут SET визначає кодування символів файлів афіксів і словника.

На основі розглянутих пропозицій була розроблена відповідна комп'ютерна система у вигляді Windows-додатку, що має зручний графічний інтерфейс. У головному вікні програмного додатку користувач може обрати файл з зображенням для розпізнавання, застосувати обробку зображення та обрати режим коригування розпізнаного тексту. Програмне забезпечення реалізовано мовою C#. Як приклад, на рис. 1, зображено метод, який реалізує заміну неправильних слів (відсутніх в словнику обраної мови) в інтерактивному режимі.

На рис. 2 показано результат обробки фрагменту зображення поганої якості, але якість розпізнавання була задовільною.

На рис. 3 подано загальний вигляд програмного додатку. На ньому основне поле займає зображення з друкованим текстом, яке подається на обробку. Праворуч розташоване поле з електронним варіантом тексту, який був отриманий в результаті обробки, та перевірених на орфографічні помилки в автоматичному режимі. Результати тестування довели працездатність програмного додатку для тестових зображень, які отримані за допомогою камери мобільного телефону з аркушу паперу з друкованим текстом.

```

public static string Correct(string inputText, string inputAff, string inputDic)
{
    FillingSymbols(checkedSymbols);
    inputWords = SeparateWordsWithEnter(inputText);
    using (Hunspell hunspell = new Hunspell(inputAff, inputDic))
    {
        for (int i = 0; i < inputWords.Length; i++)
        {
            currentWord = inputWords[i];
            if (checkedSymbols.Contains(currentWord)) continue;
            if (hunspell.Spell(currentWord)) continue;
            else
            {
                try
                {
                    suggestions = hunspell.Suggest(currentWord);
                    rgx = new Regex(currentWord);
                    if (suggestions.Count == 0)
                    {
                        inputText = rgx.Replace(inputText, CreateAddingForm(currentWord), 1);
                        continue;
                    }
                    inputText = rgx.Replace(inputText, CreateChooseForm(currentWord, suggestions.ToArray(), 1));
                    continue;
                }
                catch (Exception e)
                {
                    continue;
                }
            }
        }
    }
    return inputText;
}

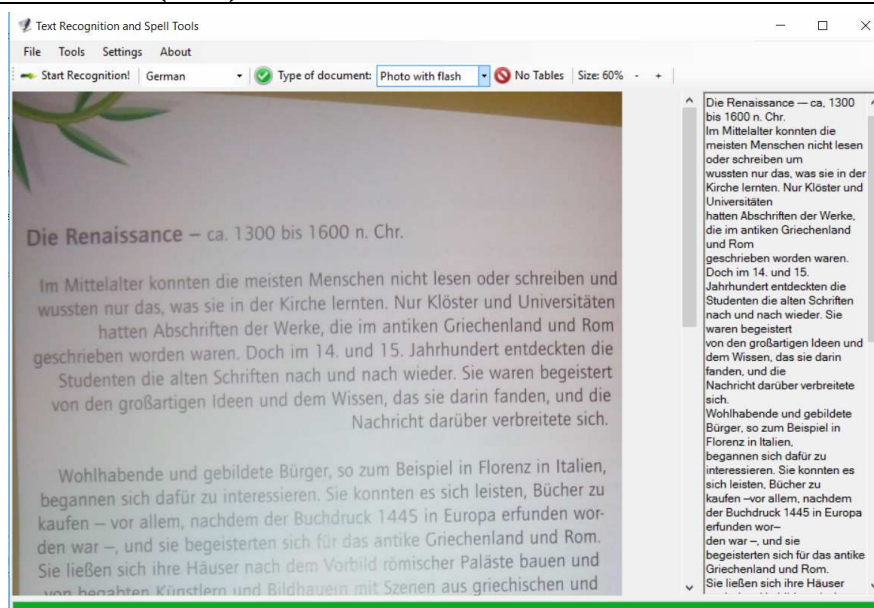
```

Рисунок 1 - Программний код функції виправлення тексту

Wohlhabende und gebildete Bürger, so zum Beispiel in Florenz in Italien, begannen sich dafür zu interessieren. Sie konnten es sich leisten, Bücher zu kaufen – vor allem, nachdem der Buchdruck 1445 in Europa erfunden worden war –, und sie begeisterten sich für das antike Griechenland und Rom. Sie ließen sich ihre Häuser nach dem Vorbild römischer Paläste bauen und von begabten Künstlern und Bildhauern mit Szenen aus griechischen und römischen Sagen, Statuen von Göttern, Helden und Kaisern schmücken.

Wohlhabende und gebildete Bürger, so zum Beispiel in Florenz in Italien, begannen sich dafür zu interessieren. Sie konnten es sich leisten, Bücher zu kaufen – vor allem, nachdem der Buchdruck 1445 in Europa erfunden worden war –, und sie begeisterten sich für das antike Griechenland und Rom. Sie ließen sich ihre Häuser nach dem Vorbild römischer Paläste bauen und von begabten Künstlern und Bildhauern mit Szenen aus griechischen und römischen Sagen, Statuen von Göttern, Helden und Kaisern schmücken.

Рисунок 2 - Вхідне зображення (вгорі)
та зображення після обробки (знизу)



**Рисунок 3 - Розроблений програмний додаток
з результатом тестування**

Висновки

Розроблена комп'ютерна система має відкритий програмний код та дозволяє зчитувати друкований текст з зображень, перетворювати його в електронну форму та перевіряти орфографію й виправляти помилки.

Подальший розвиток розробленої системи є доцільним у вигляді free online-сервісу або мобільного додатку.

ЛІТЕРАТУРА

1. Shi J., Ray N., Zhang H. Shape Based Local Thresholding for Binarization of Document Images / J. Shi, N. Ray, H. Zhang // Pattern Recognition Letters. – 2012. – Elsevier. – P.1-6
2. Smith R. An Overview of the Tesseract OCR Engine / R. Smith // IEEE Computer Society. – 2007. –P. 629-633
3. Patel C., Patel A., Patel D. Optical Character Recognition by Open Source OCR Tool Tesseract / C. Patel, A. Patel, D. Patel // A Case Study International Journal of Computer Applications. – 2012. – V. 55. – №.10. – P.50
4. Pirinen T. A., Lindĳn K. Creating and Weighting Hunspell Dictionaries as Finite-State Automata / T. A. Pirinen, K. Lindĳn // Investigationes Linguisticae. – 2010. –V. 21. – P. 3-6

ИССЛЕДОВАНИЕ УСТОЙЧИВОСТИ МЕТОДОВ ВЫБОРА ОПТИМАЛЬНОЙ МОДЕЛИ МНОЖЕСТВЕННОЙ ЛИНЕЙНОЙ РЕГРЕССИИ В СЛУЧАЕ, КОГДА НЕЗАВИСИМЫЕ ПЕРЕМЕННЫЕ ЯВЛЯЮТСЯ КВАЗИКОЛЛИНЕАРНЫМИ

Аннотация. Проведен анализ эффективности выбора оптимальной модели множественной линейной регрессии при наличии сильной линейной зависимости между входными переменными. Исследование проводилось с помощью метода имитационного моделирования. Проанализированы пять методов выбора оптимальной МЛР (метод всех возможных регрессий с исправленным коэффициентом детерминации в качестве критерия оптимальности; метод всех возможных регрессий с исправленным коэффициентом детерминации в качестве критерия оптимальности и оценкой значимости коэффициентов МЛР (на основе t-статистики); метод всех возможных регрессий с использованием статистики Маллоуза в качестве критерия оптимальности; метод последовательного исключения; пошаговый метод) с точки зрения их устойчивости в условиях мультиколлинеарности. Исследование проводилось с помощью специально разработанного в среде MATLAB программного обеспечения.

Ключевые слова: множественная линейная регрессия, оптимальная модель, критерий оптимальности, мультиколлинеарность, имитационное моделирование.

Введение. Известно, что серьёзной проблемой при оценивании коэффициентов в модели множественной регрессии является наличие линейной зависимости между некоторыми из входных переменных. [1,4,5]. Причем наличие такой зависимости не является очевидным, если значения одной из переменных представляет собой комбинацию значений нескольких других переменных [5]. На практике строгая (точная) мультиколлинеарность маловероятна, хотя бы потому, что любые данные наблюдаются с ошибками, которые являются случайными. Поэтому следует говорить о возможном наличии квази-мультиколлинеарности между входными переменными. Существенный интерес представляет исследование влияния мультиколлинеар-

ности на качество оценивания коэффициентов модели множественной линейной регрессии. В частности, важно понять, как мультиколлинеарность влияет на устойчивость различных алгоритмов выбора оптимальной, в смысле набора входных воздействий, модели линейной регрессии.

Анализ публикаций по теме исследования. Рассмотрим модель множественной линейной регрессии (МЛР):

$$Y_i = \beta_0 + \beta_1 X_{1i} + \dots + \beta_k X_{ki} + U_i, \quad i = 1, 2, \dots, n \quad (1)$$

где i обозначает номер наблюдения, X_j , $j = 1, 2, \dots, k$ - независимые (входные, предикторные) переменные, Y - зависимая (выходная) переменная, U_i - возмущения (ошибки модели), β_j , $j = 1, 2, \dots, k$ - коэффициенты модели.

Столбцы X_j , $j = 1, 2, \dots, k$ матрицы X значений входных переменных называются линейно независимыми, если равенство

$$\lambda_1 X_1 + \lambda_2 X_2 + \dots + \lambda_k X_k = \vec{0}, \quad (2)$$

выполняется если и только если $\lambda_j = 0$ для всех $j = 1, 2, \dots, k$. Иными словами, если столбцы матрицы X является линейно независимым, ни один столбец, не может быть представлен как линейная комбинация других столбцов этой матрицы. Если же в соотношении (2) не все λ_j равны нулю, то столбцы матрицы X являются линейно зависимыми или мультиколлинеарными.

На практике наличие мультиколлинеарности означает, что детерминант матрицы $(X'X)$ равен нулю и, как следствие, матрица $(X'X)^{-1}$ не существует, иными словами оценки метода наименьших квадратов (ОМНК) коэффициентов МЛР (1)

$$\hat{\beta} = (X'X)^{-1} X'Y \quad (3)$$

вообще невозможно вычислить. Такой вывод показывает, насколько серьезной является проблема мультиколлинеарности.

Однако на практике редко встречается точная (или строгая) коллинеарность между данными. Даже если реальные данные строго коллинеарны, ошибки измерения, имеющие всегда случайную компоненту, приводят к некоторому нарушению точной коллинеарности. Иными словами, следует ожидать, что реально между данными, ис-

пользующимися в качестве независимых переменных, может существовать зависимость, выраженная следующим образом:

$$\lambda_1 X_1 + \lambda_2 X_2 + \dots + \lambda_k X_k + v = \vec{0}, \quad (4)$$

где не все λ_j равны нулю, а v является некоторой случайной величиной.

Если столбцы матрицы X связаны соотношением (4), то говорят, что между независимыми переменными существует почти линейная зависимость, или приближительная коллинеарность (или квазиколлинеарность).

Заметим, что коллинеарность легко заметить, когда имеются всего две независимые переменные, так как в этом случае значения переменных пропорциональны (или почти пропорциональны) между собой. Однако, когда число независимых переменных велико, “визуально” заметить наличие мультиколлинеарности не представляется возможным. Следует отметить также, что проблема мультиколлинеарности это проблема именно строгой линейной зависимости между переменными. Если существует строгая, однако нелинейная зависимость, оценивание по методу наименьших квадратов возможно, однако стандартные ошибки оценок коэффициентов оказываются большими [1,5].

Отметим, что наличие почти линейной зависимости между независимыми переменными не нарушает оптимальных свойств ОМНК. То есть, эти оценки, в случае выполнения других гипотез классической модели линейной регрессии, остаются наилучшими линейными несмещенными оценками (НЛНО) [1]. Это важный вывод, который показывает, что не существует другого линейного метода оценивания, позволяющего получить лучшие результаты в условиях приближенной мультиколлинеарности, чем МНК.

Наличие квазимультиколлинеарности приводит к тому, что стандартные ошибки некоторых оценок коэффициентов линейной регрессии становятся очень большими [1]. Более того, по мере приближения к строгой коллинеарности, эти ошибки стремятся к бесконечности. В результате появляется слишком большая выборочная изменчивость оценок (оценки для одной и той же модели сильно варьируют от выборки к выборке, что делает их крайне ненадежными). На практике это означает, что небольшие изменения в исходных данных, приводят к неоправданно большим изменениям оценок коэффициен-

тов регрессии. С другой стороны, большие значения стандартных ошибок (среднеквадратических отклонений) приводят к маленьким значениям статистики t для оценок коэффициентов МЛР. В результате они оказываются статистически не значимыми в случае проверки нулевой гипотезы. То есть истинные значения коэффициентов регрессии, оценки которых имеют большую стандартную ошибку, тестируются как нулевые (иными словами, соответствующая независимая переменная тестируется как не влияющая на поведение зависимой переменной). В то же время следует отметить, что наряду с незначимыми оценками для некоторых коэффициентов, значение коэффициента детерминации R^2 может оказаться достаточно большим ($R^2 > 0.9$) [2, 5]. Это свидетельствует о том, что модель в целом хорошо соответствует имеющимся данным. Подчеркнём ещё раз, что всё вышеизложенное относится к случаю квазиколлинеарности, т. к. в случае строгой коллинеарности оценки коэффициентов линейной регрессии просто не могут быть вычислены. Имея ввиду серьёзные последствия, которые имеет мультиколлинеарность с точки зрения качества оценивания регрессионной модели, важно, во-первых, иметь возможность оценивать её присутствие в экспериментальных данных, а во-вторых иметь методы борьбы с последствиями мультиколлинеарности. Решение этих задач подробно рассмотрено в работах [1, 4, 5]. В данной статье рассматривается лишь влияние квазиколлинеарности на устойчивость различных методов выбора оптимальной МЛР.

Под выбором оптимальной модели понимается следующее. Предположим, что имеется m переменных, которые, возможно, являются входными воздействиями. На самом деле, только k из них действительно существенно влияют на поведение выходной переменной МЛР (1), то есть являются “истинными” входными переменными МЛР. Однако мы не знаем “априори”, какие из m переменных действительно влияют на выходную переменную. Поэтому с помощью некоторого критерия нужно отобрать из всех возможных входных переменных подмножество, которое наилучшим образом “объясняет” поведение зависимой переменной через механизм линейной регрессии (1).

Для выбора оптимальной в описанном выше смысле МЛР применялись 5 критериев, подробно описанных в [2,3]:

- метод всех возможных регрессий с исправленным коэффициентом детерминации в качестве критерия оптимальности (MR2);
- метод всех возможных регрессий с исправленным коэффициентом детерминации в качестве критерия оптимальности и оценкой значимости коэффициентов МЛР (на основе t -статистики) (MR2t);
- метод всех возможных регрессий с использованием статистики Маллоуза в качестве критерия оптимальности (Mlz);
- метод последовательного исключения (BWE);
- пошаговый метод (SWP).

Постановка задачи. Оценить влияние степени линейной зависимости между входными переменными на устойчивость различных алгоритмов выбора оптимальной модели линейной регрессии (МЛР) путём имитационного моделирования.

Основная часть. Эффективность этих методов при наличии квазимультиколлинеарности среди входных переменных исследовалась с помощью имитационного моделирования.

На ЭВМ моделировалось m случайных последовательностей, которые использовались в качестве возможных значений независимых переменных. Из них выбирались k последовательностей в качестве значений переменных, участвующих в построении МЛР (1). Затем предполагалось, что неизвестно какие и сколько из m независимых переменных входят в истинную модель. Таким образом, поиск модели осуществлялся с использованием различных возможных комбинаций из m независимых переменных на основе перечисленных выше критериев.

Для выяснения качества каждого из рассмотренных методов оптимизации проводились численные эксперименты, в которых поиск оптимальной модели производился многократно по статистически независимым данным. А именно, генерировались N (число экспериментов) наборов из m последовательностей, каждая из которых содержала по n (объём выборки) данных. В каждом из N экспериментов определялась наилучшая модель на основе перечисленных выше пяти критериев. Так как истинная МЛР заранее известна, описанная методика позволяет оценить процент правильных идентификаций каждым из исследуемых методов. Эта оценка будет достаточно надёжной, если N достаточно велико. Для проведения численных экспериментов

нами было разработано в среде МАТЛАБ соответствующее программное обеспечение.

С помощью описанной методики было проведено исследование влияния уровня мультиколлинеарности входных (предикторных) переменных на качество идентификации «правильной» или оптимальной модели в описанном выше смысле.

Квазиколинеарность между двумя предикторными переменными X_i и X_j моделировалась следующим образом:

$$X_i = X_j + \frac{1}{mu} * \xi, \quad (5)$$

где ξ случайная величина.

Параметр mu задает уровень отклонения от строгой коллинеарности. Величина этого параметра пропорциональна степени зависимости между входными переменными X_i и X_j .

Конечно, это лишь один из возможных способов управлять степенью мультиколлинеарности, но этого достаточно, чтобы проанализировать её влияние на выбор оптимальной модели.

Для того, чтобы привязать уровень mu к классическому критерию уровня зависимости между двумя последовательностями, рассчитывался выборочный коэффициент корреляции между X_i и X_j :

$$r = \frac{\sum_{k=1}^N [(X_i(k) - \bar{X}_i) * (X_j(k) - \bar{X}_j)]}{\sqrt{\sum_{k=1}^N (X_i(k) - \bar{X}_i)^2 \sum_{k=1}^N (X_j(k) - \bar{X}_j)^2}} \quad (6)$$

В приведенной ниже таблице 1 показаны результаты численных экспериментов по изучению влияния уровня мультиколлинеарности на процент правильно идентифицированных МЛР при использовании каждого из пяти перечисленных ранее методов выбора оптимальной модели.

Эксперименты проводились при таких значениях параметров имитационного моделирования:

- количество возможных входных переменных $m = 10$;
- количество входных переменных использованных для построения МЛР $k = 5$;
- объем выборки $n = 50$;
- количество экспериментов $N = 500$.

Во второй колонке таблицы 1 приведено значение параметра μ , задающего уровень мультиколлинеарности (формула 5), а в третьей колонке - соответствующий данному μ коэффициент выборочной корреляции (формула 6). Под правильной идентификацией подразумевается выбор МЛР, в которую в качестве предикторных переменных включены в полном объеме только те входные переменные, которые использовались при моделировании регрессионной зависимости (1) (т. е. “истинные” входные переменные) [1,2].

Ошибки при идентификации МЛР могут быть двух типов [4]:

- не включить какие-то из “истинных” входных переменных;
- включить какие-то “лишние” входные переменные.

Таблица 1

Критерий оптимальности	Уровень мультиколлинеарности (μ)	Коэффициент корреляции (r)	% правильных идентификаций	% идент. мод. с недостатком значимых переменных	Время расчета (сек.)
MR2	10	0,99999	7	30,8 (13,8)	88,90
	1	0,99995	14,40	0,4 (0)	88,50
	0,1	0,995	15,5	0	87,40
	0,01	0,699	15	0	87,20
	0	0	14,4	0	87,30
MR2t	10	0,99999	23,8	29,4 (8,8)	88,60
	1	0,99995	46,4	0,4 (0)	91,56
	0,1	0,995	47,2	0	90,33
	0,01	0,699	47,2	0	90,25
	0	0	44,6	0	90,08
Mlz	10	0,99999	4,6	95,4(21,2)	39,40
	1	0,99995	53,4	46,6(0,2)	38,90
	0,1	0,995	100	0	38,70
	0,01	0,699	100	0	38,70
	0	0	100	0	39,00
BWE	10	0,99999	65,8	28,6(8)	1,38
	1	0,99995	92,2	0	1,32
	0,1	0,995	92,2	0	1,29
	0,01	0,699	92,4	0	1,29
	0	0	92,0	0	1,26
SWP	10	0,99999	87,8	2,4(1)	8,74
	1	0,99995	83,2	7,6(3,8)	8,50
	0,1	0,995	45,4	52(20)	8,42
	0,01	0,699	72,0	19,2 (0,8)	9,41
	0	0	82,6	8,6 (0,2)	8,34

Известно, что не включение “истинных” входных переменных значительно более существенная ошибка, чем включение в идентифицированную модель “лишних” переменных [2, 4]. Поэтому в четвертой колонке таблицы 1 показано количество идентифицированных моделей с не полным набором “истинных” входных переменных. Однако, при наличии сильной мультиколлинеарности между двумя входными переменными, одна из них несет почти полную информацию о другой. Поэтому только не включение в идентифицированную модель обеих этих переменных, приводит к серьезной ошибке идентификации. Количество таких случаев показано в четвертой колонке таблицы 1 в скобках.

Анализ приведенных в таблице 1 данных показывает, что пошаговый метод (SWP) выбора оптимальной МЛР дает самый высокий процент правильных идентификаций при очень сильной линейной зависимости между двумя входными переменными (т. е., когда корреляция между ними практически равна единице). В то же время, этот метод мало зависит от уровня мультиколлинеарности и довольно часто ошибки идентификации связаны с не включением “истинных” входных переменных. При уровне корреляции меньше 0,995 стопроцентную правильную идентификацию обеспечивает метод всех возможных регрессий с использованием статистики Маллоуза в качестве критерия оптимальности (Mlz). Недостатком данного метода идентификации является то, что время расчета быстро возрастает при увеличении числа возможных входных переменных.

Значительно более быстрым является метод последовательного исключения (BWE). Этот метод обеспечивает высокий процент правильных идентификаций МЛР (более 90 процентов), когда корреляция между входными переменными менее 0,99995 и при этом не появляются ошибки, связанные с не включением “истинных” входных переменных.

Выводы. Существенное влияние квазиколлинearности проявляется только при очень высокой степени коррелированности между входными переменными (больше 0,999). В случае, когда среди независимых переменных имеется сильная линейная зависимость (квазиколлинearность), для выбора оптимальной МЛР лучше использовать метод всех возможных регрессий со статистикой Маллоуза в качестве критерия оптимальности, если число возможных независимых пере-

менных не слишком велико. На практике данный метод идентификации можно использовать, если число возможных входных переменных не превышает 15. В противном случае предпочтительнее использовать метод последовательного исключения.

ЛИТЕРАТУРА

1. Дрейпер Н., Смит Г. Прикладной регрессионный анализ: В 2-х кн. Пер.с англ. – 3-е изд., перераб. и доп. – М.: Диалектика. 2016. – 912 с.
2. Крохін В. В. Алгоритми ідентифікації багатопараметричних регресійних моделей // Навч. посібник до вивчення курсу «Цифрова обробка сигналів». – Дніпропетровськ: РВВ ДНУ, 2012. – 32 с.
3. Крохин В.В., Кузьменко Н.О. Автоматизация выбора оптимальной модели линейной регрессии // Системні технології. Регіон. міжвуз. зб. наук. праць. - Вип. 1 (78). Днепропетровск, 2012. - с. 73 – 83.
4. Gujarati D. N. Econometria. Tercera ediciyn. McGraw-Hill - Santafe de Bogotб, 1997. – 824 p.
5. Rawlings J.O., Pantula S.G., Dickey D.A. Applied Regression Analysis. A Research Tool. Second edition – New York: Springer, 2001. - 671 p.

ON A FRAME-BASED LANGUAGE USED FOR SOFTWARE MODELING

Abstract. The work is devoted to formalization of a frame-based language which is able to describe domain in a full, platform independent manner, considering all necessary information that could be effectively used by the transformation mechanism for information system construction and maintenance. The solution is based on the descriptive power of facets used by both frame and slot structures.

Keywords: frame-based knowledge representation, code generation, MDA, PIM.

Importance and relevance of the research topic. Nowadays, developers face the tasks of building in short terms a highly maintainable multilayer system. One of the method to make it real is to implement reuse practice through all the phases of product life cycle, including design and management aspects [1]. Making the solutions standardized leads the organization to the condition when an incoming task or a problem triggers retrieving a set of typical solutions from the terminological knowledge base. One of the issues is the dependency of the solution on a variety of details linked with a programming language and/or a framework, third-party components and services. This dependency blocks the port of the solution to another platform or language, makes the solution difficult to understand, even when the code is well structured and self-documenting.

One way to overcome such problems is to represent the solution as a set of models going down from more abstract business-oriented models towards more detailed and platform-specific ones. It is the way of model-driven architecture (MDA) provided by OMG (Object Management Group) consortium. The key ideas of the approach are as follows: the description of the system by the models on different levels of abstraction connected to phases of a software development cycle; the producing of the low-level models from the high-level ones through a set of transformations leading by the defined transformation rules. According

to MDA there are four levels of system description: computation independent model (CIM), also known as domain model, used to define business processes of the organization for which the information system (IS) will be developed; platform independent model (PIM) defines the system architecture and specification can be implemented in various platforms; platform specific model (PSM) offers detailed technical specification of the system and can be transformed to implementation model (code) according to transformation rules automatically or semi-automatically; implementation model (IM) – a set of artifacts represented using programming languages define the information needed to create IS. The main problems of MDA appeared in practice are as follows: the lack of CIM formal description; accordingly, inability to build effective CIM-PIM transformation; behavior description and the completeness of the generated code. Creation of CIM level is not unified but it is assumed that this level is represented by the model of business processes. For example, in [3] authors suggest using of DFD (data-flow diagrams) as the language to describe CIM model. Evaluation summary of the methods described in [4].

Thus, one of the actual questions connected to building strong foundation for maintainable system is to find an expressive language could be used to form a platform independent description of the solution, including all specific details for and its effective sequential transformation into PIM, PSM, IM models.

Analysis of recent publications. The work [5] presented the interpretation of the model-based approach that simplifies the creation and maintenance of information system, which is based on the model described with the use of frame approach of knowledge representation. The generation of a number of components is made on the basis of the described model. It simplifies the process of developing a multi-tier application, as well as the interpretation of the model is made in the course of operation of the system, eliminating the necessity to build and test the additional classes. The work [6] reviews the issues of functional components formation, which is based on the use of templates to make the generation of functional components. The work [7] provides an approach of simplifying the creation of functional components responsible for the full implementation of the business function.

Task definition. The main goal of the work is to find a simple, powerful, high-level language with a potential of detailed system description, which can be then interpreted as a transformation into a PIM, PSM model or even in components needed to realize the function.

Main part. When we talk about software, we mainly talk about the *knowledge* of how to resolve the computing problem. This knowledge is represented in a form of mental models. Actually, programming and modelling languages, patterns, and solutions can be perceived as a set of tools with the only one purpose that is to provide an ability to represent the knowledge about the task and the solution. After the knowledge is acquired and formalized it can be automatically or semi-automatically transformed into executable form using another set of tools: model transformers, compilers or interpreters, libraries, frameworks, services provided by the operation system, third-party services etc.

One of the powerful knowledge representation system is frame-based paradigm which first provided by Minsky in [8], and which has been refining by the different languages and project during the last 30 years. The best analysis of the frame-based representation systems can be found in [9]. According to [10] the main goal of the frame approach was to gather all relevant knowledge about a situation in one object instead of distributing this knowledge across various axioms. Let's take a look at the main three concepts of frame-based paradigm to understand the difference and the benefit of the model.

Frames. According to [9] a frame is a data structure that is typically used to represent a single object or a class of related objects or a general concept or predicate. The main benefit of such structure is its compactness. Frames reflect the human thinking mechanism and though perceived by the humans naturally. In semantic networks, properties of the object are restricted to primitive, atomic ones. The properties in frame systems can be complex concepts described by other frames.

Slots. The slots of a frame describe attributes or properties of the thing represented by that frame and can also describe binary relations between that frame and another frame. In addition to storing values slots also contain restrictions on their allowable values.

Facets. Almost all systems specify a few other attributes for each slot besides its value such as a slot datatype and restrictions on the allowable values for the slot

$E \rightarrow \text{SuperClasses} : F_1, \dots, F_h$ MemberSlot : S_1 ValueClass : H_1 Cardinality.Min : m_1 Cardinality.Max : $n_1 \dots$ MemberSlot : S_k ValueClass : H_k Cardinality.Min : m_k Cardinality.Max : n_k

F_i denotes a frame name, S_j denotes a slot name, m_j and n_j denote positive integers, and H_j denotes slot constraints. Some researchers generalized this notion to allow slots to have arbitrary properties called facets of which name, value, datatype and value restriction are the usual complement.

So, as we can see, frame-representation model appears as an approach which is much closed to object-oriented paradigm, with an important difference that it's more general and more powerful in a sense of representing knowledge. It's powerful because it's free of restrictions dictated by the set of specified facets injected into the slot's structure. Object-oriented paradigm has only two basic types of slots: fields and methods.

Frame language formalization. In this paper we are going to provide a frame-based language as a basic modelling language which is able to represent all knowledge about the solution. All other models, structural and behavioral, can be regarded as the projections of the model described in such language. To adopt the frame-based paradigm to our task of building such language we need to investigate it more precisely. First, in order to observe the potential of the language, we will provide a formalized abstract model and then we will discuss the aspects of its practical interpretation and its connection to the models of MDA.

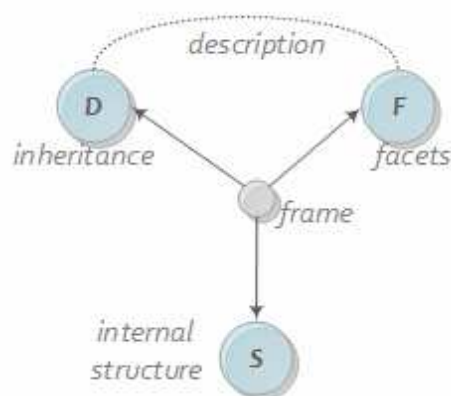


Figure 1 – The structure of frame

Generally, frame system defined as an algebraic system consisted of a set of concepts-frames C , a set of relations Ω_r and a set of operations Ω_o

$$\mathbb{F} = (C, \Omega_r, \Omega_o). \quad (1)$$

Frame can be defined as a 3-tuple (Fig.1).

$$c =_{def} (\vec{s}, d, \vec{f}), \quad (2)$$

$\vec{s}$ denotes an internal structure of the frame represented as an ordered set of slots d represents the inheritance information, super-frames. Super frames can be divided into several types: ordinal concept and interface.

$$d =_{def} c_1 \sqcap c_2 \dots \sqcap c_m. \quad (3)$$

It's notable that the inheritance mechanism could be restricted to a variant provided by the object-oriented languages: only one super-class and a number of interfaces.

$\vec{f}$ denotes a vector of facets define the additional features of the frame. If we represent an object-oriented class by the frame, the level of its abstraction would be represented by the facets. For example, interface and class will have different values of a facet named “type of concept”. But the provided mechanism is more powerful. We can use the facets to map the concept on different system components. So components appearance is governed by the values assigned to the facets.

$$\vec{f} =_{def} \langle f_1, f_2 \dots f_k \rangle \quad \vec{f} \in F \subseteq F_1 \times F_2 \times \dots \times F_k. \quad (4)$$

Facet types make sets of values can be used for definition. So the facet will be defined over facet domains.

For example, if we have a class Patient which inherits the class Person with a number of facets used to define that it's suggested to be

stored in a storage, viewed, transferred among the service-client, and needs caching. We can simply represent all that features in a facets block.

Patient : Person **facets**: entity, dto, optimized, viewable
{...}

Of course, we can also use xml notation, and even some graphical tools able to generate such script.

Thus, using the facets in frame description expands the ability to represent all necessary information to define the concept. This information will be used further to generate complete code structures.

One of the issues we encounter is the inheritance of facets. There could be a number of variants: inheritance of all the facets of the super-class, partial inheritance of the facets, no facets' inheritance. Full inheritance of the facets can be represented as follows

$$c_1 \sqsubseteq c_2 \Rightarrow c_1 \cdot \vec{f}_+ = c_1 \cdot \vec{f} \sqcup c_2 \cdot \vec{f}_+, \quad (5)$$

$\vec{f}_+$ denotes the vector of facets including the facets of inherited concept; $\vec{f}$ – facets connected with the entire concept. More precisely we can represent this rule in terms of projections.

$$\pi_f(c_1) = \begin{cases} \vec{f}, & c_1 \not\sqsubseteq c_2 \\ \vec{f} \sqcup \pi_f(c_2), & c_1 \sqsubseteq c_2 \end{cases}. \quad (6)$$

Another question is the consistent description of a concept by the facets: exclusion of appearance of irrelevant facets; causal relation between the facets. To resolve the problem, we should have a kind of ontology which defines the relations between facets' types and a mechanism of validating a vector of facets against the ontology.

We can describe slot as an ordered set of facets. Thus, we have two general classes of facets describe frame and slot.

$$s_i =_{def} \vec{\varphi}_i, \quad \vec{\varphi}_i \in \Phi \subseteq \Phi_1 \times \Phi_2 \times \dots \times \Phi_k. \quad (7)$$

Domains represent the axes of slot's definition. For example, Φ_1 can represent the type of slot with two available values {property, method}, Φ_2 – number restriction etc.

Here also appears the known question of the consistent description of a slot by the facets. The resolution mechanisms are also seemed to be the same.

Some notes on interpretation. A model of an abstract network of concepts is a system built using a set of principles, patterns and tech-

nologies. Formally, we can think of architecture as a partially ordered set of layers. A collection of available architectures can be represented as a relation over a number of domains, each of which connected with an axis.

$$A \subseteq A_1 \times A_2 \times \dots \times A_n . \quad (8)$$

For example, we can perceive A_1 axis as a set of all available solutions linked with a task of data persistence, A_2 – variants of banking services etc.

An interpretation function, mapping a concept onto defined architecture can be defined as follows:

$$\vec{\theta}_i : c_k \rightarrow \vec{a}_i, \quad \vec{a}_i \in A . \quad (9)$$

As we see, an interpretation function is an ordered set of more specific functions each of which transforms an abstract definition to at least one or, generally, a number of assets.

$$[\pi_j(\vec{\theta})]_i : c_k \rightarrow \pi_j[(\vec{a})_i], \quad [\pi_j(\vec{a})]_i \in A_j . \quad (10)$$

Connection with MDA. According to [4] CIM usually includes several distinct models that describe system requirements, business processes and business objects and it covers the aspects of the system that are important from a domain expert's point of view. The next level model (PIM) describes IS, but hides details in usage of concrete technology. It creates specification for required services of IS without technical platform dependent details. Taking into account these two definitions we can think of the role of the model described using provided language as a core background model which can be mapped to CIM, PIM or PSM level on demand. Of course, the conventional script which represents the frames cannot be clearly understood by the experts, but this problem can be effectively solved by an introduction of more simple (graphical) language able to represent the projection of the frame in a form easily understood by the expert etc. Thus, we can think of a frame as a set of projections, some of which represent more abstract information that can be easily understood by the experts, some form more detailed view needed for generation of more complete and valuable assets. It could think of a frame described in such a way as of the complete synthesis-oriented structure able to incorporate all necessary knowledge needed to produce the solution.

Summary. The work is devoted to formalization of a frame-based language able to describe domain in a full, platform independent manner, considering all necessary information that could be effectively used by the transformation mechanism for system construction and maintenance. The expressiveness of the language is based on detection of the descriptive power of facets used by the both frame and slot structures.

LITERATURE

1. Mary Beth Chrissis. CMMI® for Development Guidelines for Process Integration and Product Improvement, Addison-Wesley Professional; 3 edition (March 20, 2011). – 688 p.
2. J. Miller and Mukerji.J., "MDA Guide Version 1.0.1.," OMG. – 2003.
3. М. Кардољ, and М. Дроздовб, "Analytical method of CIM to PIM transformation in model driven architecture (MDA)" // JIOS. – 2010 – Vol. 34, No. 1. – P. 89-99.
4. A. Kriouile, T. Gadi, Y. Balouki, CIM to PIM Transformation: A criteria Based Evaluation // International Journal Computer Technology & Applications. – 2013. – Vol. 4, No. 4. – P. 616-625.
5. Литвинов О.А., Грузин Д.Л., Вякилов А.С. Оптимизация процесса разработки многоуровневых программных компонентов. // Системные технологии. Региональный межвузовский сборник научных работ. – Выпуск 1(90). – Днепропетровск, 2014. – С. 29-35.
6. Литвинов О.А., Грузин Д.Л. Особливості автоматизації процесу розробки функціональних компонентів інформаційної системи. // Системні технології. Регіональний міжвузівський збірник наукових праць. – Випуск 1(96). – Дніпропетровськ, 2015. – С. – 78-86.
7. Литвинов О.А., Грузин Д.Л., Гуреев П.П. Особливості автоматизації розробки функцій в багатошарових інформаційних системах. // Системні технології. Регіональний міжвузівський збірник наукових праць. – Випуск 1(102). – Дніпропетровськ, 2016. – С.- 36-41.
8. M. Minsky 1975. 'A Framework for Representing Knowledge'. In The Psychology of Computer Vision, ed. P. H. Winston, 211 – 277. New York: McGraw-Hill.
9. Peter D. Karp, The Design Space of Frame Knowledge Representation Systems, Technical Note 520. Artificial Intelligence Center, SRI International, 1992.
10. F. Baader, I. Horrocks, and U. Sattler: Description Logics. In Frank van Harmelen, Vladimir Lifschitz, and Bruce Porter, editors, Handbook of Knowledge Representation, pages 135–179. Elsevier, 2007.

ON FORMALIZATION OF INTEGRATIVE COMPUTER-AIDED LANGUAGE LEARNING SYSTEM SCENARIO

Abstract. The given work is devoted to CALL system scenario formalization aimed to generalize the experience, estimate the potential of the integrative systems, define the problems and their solutions.

Keywords: scenario, second language acquisition, language learning system, integrative approach.

Actuality. Since the first CALL (computer-assisted language learning) system appeared in 1960s, many different systems have been built, books have been written and published [1], and even academic disciplines and courses have been introduced and studied in universities worldwide [2]. Despite of a plenty of the different systems and methods existed, we can define three classes of such systems connected to three language learning approaches: behavioristic, communicative, integrative [3,4]. Warschauer [5] connected them to three phases of learning systems improvement and development: behavioristic, communicative, integrative. These systems cannot be regarded as competitors, but rather can be seen as three coexisted facets of a brilliant which effectively complement each other.

Behavioristic systems are focused on using the computer as a tutor governing by the “drill and practice” principle. A typical behavioristic system is PLATO project. It is based on vocabulary drills, grammatical rules and translation tests. However, behavioristic systems did not allow enough authentic communication to be of much value [5]. In fact, the linguistic environment for language acquisition is very important. It presses the students to communicate with other people in real time mode, brings a lot of examples of how to say something, a lot of variations of how to express a thought, gives many opportunities to experiment with the language [6]. It is very different from the drill and practice approach used within the classroom. *Communicative CALL systems* involves the computer as stimulus, not as a tutor. The features of the

communicative CALL systems are as follows: teaching grammar implicitly; encouraging students to generate original utterances rather than manipulate prefabricated language; avoiding to tell students they are wrong and being flexible to a variety of student responses; creating an environment in which using the target language feels natural. Communicative CALL systems software include a number of programs which may not have been specifically designed for language learners. Computer system takes place of a passive mediator directed to connect the students and teachers, helping them to build a community.

Integrative systems are based on two technological components - multimedia computers and the Internet [5]. Multimedia resources can be used by the students on demand allowing to build an authentic linguistic environment able to affect the user through several channels of perception simultaneously (listening is combined with seeing, like in the real world). The main features of such systems are as follows: authentic linguistic environment simulation, skills are easily integrated, because the media makes it natural to combine reading, writing, speaking and listening in a single activity; students studying in accordance with their individual plans, honing in on particular aspects and skipping the others; focusing on the content, without focus on language form or learning strategies. The typical integrative system is Dustin program developed by the Institute for Learning Sciences at Northwestern University [7]. The program was developed for use by foreign employees of Andersen Consulting. It helps employees to enhance their English skills within the context of actual environment they will encounter when they attend business meetings at the training center. Dustin includes a number of video scenarios that all employees will encounter (airport, checking into a hotel, ordering food). User interacts with different persons from video-clips, posting his/her answers. If the answer is correct and trainee is successful with a scenario, he/she goes to the next one. But when the trainee is not successful, he/she gets notified by the system what they have to learn in a very direct way. Failure and its processing is a key element in Dustin, failing at a task make students interested in finding out what they need to know to succeed [7]. The correction of the user answers are made using a tutor agent, which in communicative user-centric manner suggests a correct way to convey the message [8]. Thus, the student feels engaged in the world of real life communica-

tions, having a clear goal, learning through apprenticeship. Another project based on the same principles is SPELL developed and discussed in the works of Hazel Morton [9,10]. The main features of the project are as follows: automatic speech recognition; embodied 3D virtual agents and virtual worlds for the creation of scenarios; focused on developing oral skills in the target language.

Task definition. Scenario is the most important component of an integrative system. The quality of the scenario and the ability of the system to play it can be seen as two key components affect the quality of the realistic language environment simulation aimed to help user to acquire language skills effectively. Secondly, the effect of the system depends on the variety and complexity of the situations represented by the scenarios. The system should be opened to add new scenarios and the scenarios should cover all the domains of knowledge (content) the users are interested in. One of the conditions to make it real, the operation of new scenario creation should be rather simple. As a result, the system will have a huge amount of scenarios and a search mechanism able to retrieve a number of similar scenarios with the properties the user is interested in, compare different scenarios etc. The third important aspect should be considered is the ability of the system to be open for multiple foreign languages learning.

To solve the given problems effectively, we should clearly understand what the scenario is, or more precisely, what the scenario may be. The way of such understanding should be based on the strong foundation of mathematical formalization. The formalization is directed to help us not only in terminological questions, but mostly in questions of systems' potential, configurations and improvements. Despite of an exceptional role of the scenario concept for integrative CALL systems, author has not found any works devoted to its formalization. Thus, the given work is intended to fill this gap.

Main part. Generally, the system of scenarios can be defined as an algebraic system composed of a set of scenarios Σ , relations Ω_r and operations Ω_o .

$$\mathcal{S} = (\Sigma, \Omega_r, \Omega_o), \quad (1)$$

Each scenario $\sigma_i \in \Sigma$ composed of two required elements: *scenario descriptor* and a none-empty, ordered or partially ordered, finite *set of steps*. The set of steps defines an order and a specific of events each of

which aimed to pass a *message* to the end-user. The number of steps is limited.

Scenario descriptor is used for scenario classification. It's an element of n -ary relation on n domains-classifiers (classification axes)

$$D^+ \subseteq K_1 \times K_2 \times K_3 \times \dots \times K_n, \quad (2)$$

where K_i – i -th classifier. The typical classifiers are as follows: interest, language, skill level, rating. Classifiers can be represented as taxonomies.

In general, D^+ consists of required classification axes denoted by D and optional ones denoted by D^- .

$$D = D^+ \setminus D^-. \quad (3)$$

Scenarios are similar iff their descriptors' projections on required domains are equal.

$$\sigma_i \sim \sigma_j \Leftrightarrow \pi_D(\vec{d}_i) = \pi_D(\vec{d}_j), \quad \vec{d}_i, \vec{d}_j \in D^+. \quad (4)$$

More precisely we can talk about a degree of similarity. Similarity operation is widely used for scenario retrieval manually by the user and automatically by the information system unit responsible for making an individual language acquisition plan.

The step of scenario reflects a real world event (more precisely an event of linguistic environment) appeared in a definite time slice. Consequently, a sequence of steps reflected a set of such events is very similar to a sequence of frames composed a movie. The key difference from the movie is the involvement of a user in the flow of events and the dependence of the flow on the user's activities. It looks like an interrupt caused by the movie and processed by the user. And in accordance with the results of the processing system chooses the next sequence of steps to play, including a switch to the alternative flow or even playing another movie.

Message. The key element of the step is the *message* responsible to pass the meaning of the event to the user. Some messages require user's reaction. A set of messages can be described by the relation on a set of domains each of which represents objects of a type or a channel. We can say that a message consists of a number of objects, or a number of projections of the message on the domains

$$M \subseteq T_1 \times T_2 \times T_3 \times \dots \times T_m \quad (5)$$

M – the whole set of the messages registered in the system; M_i – a set of messages connected to the i -th scenario σ_i .

Typical examples of the message projections are as follows: text, formula, video-clip, audio, image, diagram, virtual agent actions etc. More general channels, such as audio, can be divided into sub-types such as speech audio and environment supplementary sounds (airport, cafe).

A process of passing the message to end-user is shown in figure 1. A, T, I, B, C – domains, and a_i, b_m, c_n, t_j, i_l – denote the projections of the message $\vec{m}_z \in M_i$ on the domains, i.e. $\llbracket \pi_A(\vec{m}) \rrbracket_z = a_i$.

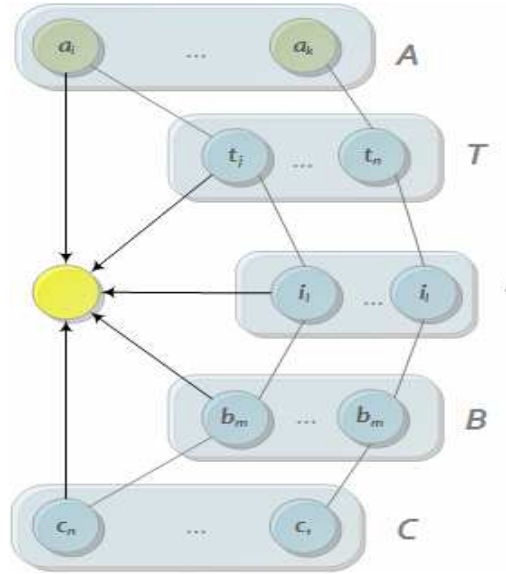


Figure 1 – A process of passing the message to end-user

Each projection of the message takes some time. Consequently, the time needed to pass the message is defined by the slowest projection.

$$\vec{m}_z =_{def} ((a^1_{i_1}, \dots, a^n_{i_n}), \bar{t}_z), \quad a^1_{i_1} \in T_1, a^n_{i_n} \in T_n, \quad (6)$$

$$\bar{t}_z = \max_{i=1, n} \{\tau(\pi_i(\vec{m}_z))\}, \quad (7)$$

$\tau(\pi_i(\vec{m}_z))$ – denotes an operation of calculating a required time to pass the i -th projection of z -th message.

After the message has passed, user needs some time to perceive the message. To make the simulation more closed to the real life the time should be defined for each message individually.

There are two types of the messages: task-oriented messages which cause interrupts of the flow and require user reaction; infrastructure-oriented messages. Infrastructure or context-oriented messages form a background to make a natural involvement of the user into communication based on task-oriented messages connected to the tasks.

Tasks and reaction. A task is the most important component which provides a feed-back, allowing the system to understand the properties and specific of the user and, as a result, to make the learning process more flexible and effective. It is very important that the task-oriented message could be connected to a number of tasks each of which requires user's involvement.

Can we say that only the group of tasks composes the core of the scenario and the minimum set of required steps to pass the scenario is the set of tasks? Not obviously, because some tasks can be connected to the infrastructure messages and no one can give a correct answer without them. Consequently, the core of the scenario (minimalistic version) needed to pass the scenario by the user includes all tasks messages with the required context. Getting the minimalistic version is very important for the test-oriented users who don't want to waste their time on a soft involvement. Thus, we have defined an operation of getting a minimalistic version of the scenario.

To understand the connection between the messages and the tasks we have to separate the domains of tasks and the domains of messages.

$$\vec{a}_x =_{def} (a^1_i, \dots, a^n_j), a^1_i \in T_1, a^n_j \in T_n, \quad (8)$$

$$\vec{q}_x =_{def} (q^1_i, \dots, q^m_k), q^1_i \in Q_1, q^m_k \in Q_m, \quad (9)$$

$\vec{a}_x$ – a message, $\vec{q}_x$ – a vector of tasks each component requires user's involvement.

Each task is a 3-tuple “task definition – a set of weighted correct answers – a required time to perform the task”.

$$q^j_i =_{def} (q^j_i, P^j, t). \quad (10)$$

A set of weighted answers forms a pattern P^j . Generally, the pattern provides a set of pairs “expression - value”. An expression is not always textual and totally depends on the domain it belongs to, i.e. if the task connected with objects manipulation then the expression would be an ordered set of actions. A textual expression should be considered as a variant

$$P^j =_{def} \{(s, v) | s \in S^j, v \in Q\}, \quad P^j \subseteq \mathcal{P}. \quad (11)$$

We should introduce an operation ψ which can estimate a certain expression against a pattern of answers.

$$\psi(s, q^j_i) = \begin{cases} v, \exists s: (s, v) \in P^j \\ 0, \nexists s: (s, v) \in P^j \end{cases}. \quad (12)$$

A summary time needed to pass the tasks can be calculated in accordance with the formula

$$t_q = \sum_{i=1}^m \tau(q^i). \quad (13)$$

We should also define an operation $v(\vec{q}_x)$ which can get a vector of estimations of the tasks q^j_t performed by the user.

$$\vec{v} = v(\vec{q}_x). \quad (14)$$

Thus, a message can be defined as a tuple

$$\vec{m}_x =_{def} (\vec{a}_x, \vec{t}_a). \quad (15)$$

And a task collection connected with the message can be defined as

$$\vec{r}_x =_{def} (\vec{q}_x, t_q). \quad (16)$$

A set of tuples $(\vec{m}_x, \vec{r}_x) \in M_i \times R_i$ forms the foundation of the scenario, where R_i is a subset of the general set of scenarios R defined in the system. Index i indicates, that the subset is selected for i -th scenario.

$$M_i =_{def} \{\vec{m}_x | x \in \mathbf{N}\}, \quad (17)$$

$$R_i =_{def} \{\vec{r}_x | \forall \vec{r}_x: \exists (\vec{m}_k, \vec{r}_k), \vec{m}_k \in M_i, x, k \in \mathbf{N}\}. \quad (18)$$

Modes. An important operation should be considered is the function of modes switching. The function allows to transform the basic version of the scenario into a form convenient for a user, it can be regarded as a key component of adaptation mechanism made system more flexible and highly adoptable for different kinds of users. For example, it can affect the speed of events flow, including/excluding the steps etc.

$$\mu_j: \sigma_i \rightarrow \sigma^j_i, \quad (19)$$

μ_j - defines a transformation of j -th type which can transform the scenario σ_i into a form of σ^j_i . Generally, we can talk about the vector of transformations applied to a scenario in order to adopt it for the user.

Next step definition. The definition of next step performed by the γ component included in scenario playing procedure. It depends on the results of user activities estimation (see (14)). Simple variant of the procedure takes the next step from the ordered set of messages. More sophisticated one goes in accordance with the scheme included a set of alternative flows directed by the conditions based on the vector of estimations

$$\gamma: C_i \times F_i \rightarrow C_i, \quad (20)$$

where F_i – a scheme includes a set of alternative flows.

The final definition of scenario σ_i can be represented by the formulas

$$\sigma_i =_{def} (\vec{d}_i, m_0, C_i, F_i), \quad m_0 \in M_i, \vec{d}_i \in D, \quad (21)$$

$$C_i \subseteq M_i \times R_i, \quad (22)$$

where m_0 denotes the initial message.

Summary. The given work represents a formal description of the scenario of the scenario-based integrative language learning system. The description is presented in a compact form and based on mathematical background. It allows to understand the specific and potential can be achieved by the system; a set of operations should be considered; phases of evolution of such systems; make a flexible architectural solution. The similar mechanism can be used for other scenario-oriented systems.

LITERATURE

1. Hubbard, P. (Ed.). Computer Assisted Language Learning: Critical Concepts in Linguistics, Volumes I-IV. London & New York: Routledge. – 2009.
2. Stanford University. Linguistic department. An Invitation to CALL. Foundations of Computer-Assisted Language Learning. [Electronic resource]. – Access mode :
<http://web.stanford.edu/~efs/callcourse2/CALL1.htm>
3. Wan Y. An Integrative Approach to Teaching English as a Second Language: The Hong Kong Case. Conference on English Language Learning for the 21st Century (Hong Kong, January 1996). – 14 p.
4. Lightbown P. M., Spada, N. How languages are learned. Oxford: Oxford University Press. – 1998. – 135 p.
5. Warschauer M. (1996) "Computer Assisted Language Learning: an Introduction". In Fotos S. (ed.) Multimedia language teaching, Tokyo: Logos International: 3-20.
6. Wang C. On Linguistic Environment for Foreign Language Acquisition. Asian culture and history. – Vol.1, No.1. – 2009. – P. 58-62.
7. Schank R., Cleary C. Engines for education. Volume 2. Routledge. – 1995. – 248p.
8. Schank R. Inside Multi-Media Case Based Instruction. Routledge. – 1998. – 472p.
9. Morton H., Jack M. Scenario-Based Spoken Interaction with Virtual Agents. Computer Assisted Language Learning. – July 2005. – Vol.18, No.3. – P. 171 – 191.
10. Morton H., Gunson N., Jack M. Interactive Language Learning through Speech-Enabled Virtual Scenarios. Advances in Human-Computer Interaction. 2012 [Electronic resource]. – Access mode :
<https://www.hindawi.com/journals/ahci/2012/389523/>

РОЗПІЗНАВАННЯ ВІЗУАЛЬНИХ ОБРАЗІВ СИГНАЛІВ ЗА ДОПОМОГОЮ НЕЙРОННОЇ МЕРЕЖІ

Анотація. Використання нейронних мереж на основі багатопарового перцептрона запропоновано як метод для розпізнавання візуальних образів. Продемонстрована працездатність мережі на прикладі розпізнавання та класифікації електромагнітних сигналів. Моделювання виконувалося в середовищі MATLAB.

Ключові слова: композитні матеріали, нейронні мережі, багатопаровий перцептрон, візуальний образ сигналу, функції активації.

Вступ. В промисловості одним із важливіших питань є контроль якості продукції. Існує велика кількість методів контролю, однак найбільш використовуваними є методи неруйнівного контролю, які не наносять шкоди контролюваному виробу.

Одним з методів неруйнівного контролю композитних матеріалів є вихорострумний. Його можна проводити без контакту перетворювача й об'єкта та одержувати прийнятні результати контролю навіть при високих швидкостях переміщення перетворювача. Вихорострумний метод заснований на реєстрації зміни густини вихорових струмів, тому на отриманий сигнал можуть впливати зовнішні вихорові струми. Слід враховувати шорсткість поверхні композитних матеріалів. Виникає задача – при аналізі оброблюваних сигналів, необхідно отримати інформацію щодо наявності та розмірів дефектів.

Розроблено багато методів розпізнавання образів за допомогою нейронних мереж з різною структурою і специфікою, завдяки чому відкривається широкий простір для досліджень. Сучасні технології дозволяють створювати комп'ютерні системи із залученням нейронних мереж, для яких в якості входних параметрів можуть використовуватися характеристики електромагнітних сигналів [1,2].

Визначення проблеми. Метою роботи є створення графічних образів електромагнітних сигналів, які отримуються при скануванні композитних матеріалів, та їх дослідження за допомогою створеної

нейронної мережі для розв'язання задачі класифікації сигналів дефектоскопії.

Основна частина. Кожна штучна нейронна мережа являє собою множину простих елементів – нейронів, які сполучені певним чином. Конкретний вигляд виконуваного мережею перетворення даних обумовлюється не тільки характеристиками нейронів, які входять до її структури, але і особливостями її архітектури, а саме топологією міжнейронних зв'язків, напрямом і способами передачі інформації між нейронами, а також засобами навчання мережі [2, 3].

При проведенні аналізу вхідних і вихідних даних значення ваг та зсувів нейронної мережі автоматично налагоджуються так, щоб мінімізувати різницю між бажаним сигналом та отримуваним на виході в результаті моделювання. Ця різниця називається помилкою навчання і для конкретної конфігурації нейронної мережі визначається шляхом пропускання через мережу всіх спостережень, які мають, та порівняння вихідних значень з бажаним, цільовим значенням. Тобто формується функція помилки (критерій якості навчання).

Багатошарові нейронні мережі прямого розповсюдження являють собою нелінійні системи, які дозволяють краще кваліфікувати ніж звичайні статистичні методи. Багатошаровий персептрон (multilayer perceptron - MLP) складається з множини вхідних вузлів, які створюють вхідний шар, одного або декількох прихованих шарів нейронів з сигмоїдальними функціями активації, та вихідного шару нейронів з лінійними функціями активації. При навчанні MLP використовуються алгоритми зворотного розповсюдження помилки (back-propagation learning) [3]. Кожний нейрон MLP, який навчається на основі зворотного розповсюдження має нелінійну гладку функцію активації, часто використовують нелінійну сигмоїдальну функцію типа логістичної або гіперболічного тангенса [3, 4].

Алгоритми оптимізації навчання є стратегіями, заснованими на реалізації ідеї ітеративного спуску, які забезпечують мінімізацію функціонала навчання. У процесі роботи алгоритмів, як правило, виникає задача одновимірного пошуку мінімуму уздовж заданого напрямку [2, 3].

Процес навчання мережі включає налаштування значення ваг і зсувів мережі для оптимізації продуктивності мережі. Налаштування продуктивності для мереж з прямим поширенням визначається за се-

редньоквадратичною функцією (mse) між виходами мережі (a) й цільовими виходами (t) та визначається за формулою [3]

$$F = mse = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (t_i - a_i)^2 \quad (1)$$

Найбільший інтерес представляють такі показники як величина продуктивності градієнта і кількість перевірок достовірності, котрі використовуються для завершення навчання. При найменшому значенні градієнту навчання досягає мінімальної продуктивності. Величину градієнта можна визначати самостійно.

Після навчання і перевірки нейронної мережі об'єкт мережі можна використовувати для розрахунку відповідей на будь-яке вхідне значення.

Основний алгоритм зворотного розповсюдження помилки корегує параметри, які налагоджуються, в напрямку найскорішого зменшення функціоналу помилки. Методи другого порядку вимагають знання других похідних цього функціоналу помилки. До цих методів відноситься метод Ньютона, основний крок якого знаходиться за формулою:

$$x_{k+1} = x_k - H_k^{-1} g_k, \quad (2)$$

де x_k – вектор значень параметрів на k -й ітерації; H – матриця других часткових похідних цільової функції, або матриця Гессе; g_k – вектор градієнта на k -ї ітерації. Метод Ньютона в багатьох випадках сходиться скоріше, ніж методи сполученого градієнта, але потребує великих затрат через обчислення гессіана. Для того, щоб уникнути обчислення матриці Гессена, пропонуються різні засоби її заміщення приблизними виразами, це породжує так звані квазіньютоніві алгоритми (наприклад, алгоритм метода січних плоскостей або алгоритм Левенберга-Марквардта) [2 ч. 4].

Алгоритм Левенберга – Марквардта реалізує наступну стратегію для оцінки матриці Гессе. Припускаючи, що функціонал визначається як сума квадратів помилок, що характерно при навчанні нейронних мереж з прямим розповсюдженням, гессіан можна наближено обчислити як

$$H \cong J^T J, \quad (3)$$

а градієнт розрахувати за формулою

$$g = J^T e, \quad (4)$$

де $J = \frac{\partial J}{\partial W}$ - матриця Якобі похідних функціоналу помилки за параметрами, які налаштовуються; e - вектор помилок мережі.

Матриця Якобі може бути обчислена на основі стандартного методу зворотного розповсюдження помилки, це істотно простіше обчислення матриці Гессе. Алгоритм Левенберга – Марквардта використовує апроксимацію гессіана такого вигляду:

$$x_{k+1} = x_k - (J^T J + \mu I)^{-1} J^T e_k . \quad (5)$$

Коли коефіцієнт μ дорівнює 0, отримуємо метод Ньютона з наближенням до гессіана; коли значення μ велике, отримуємо метод градієнтного спуску з маленьким кроком. Оскільки метод Ньютона має велику точність і швидкість збіжності поблизу мінімуму, завдання полягає в тому, щоб у процесі мінімізації якомога швидше перейти до методу Ньютона. З цією метою параметр μ зменшують після кожної успішної ітерації і збільшують лише тоді, коли пробний крок показує, що функціонал помилки зростає. Така стратегія забезпечує зменшення помилки після кожної ітерації алгоритму.

Цей алгоритм має дуже ефективну реалізацію в системі MATLAB, що є інтерпретатором векторної машини, де операція скалярного добутку реалізується з високою точністю і швидкодією на математичному співпроцесорі комп'ютера. Головний недолік алгоритму Левенберга – Марквардта полягає в тому, що він вимагає багато пам'яті для зберігання матриць великих розмірів [3, 4].

Навчання нейронної мережі припиняється при виконанні однієї з умов: значення функції якості навчання стало менше граничного; градієнт критерію якості став менше; досягнуто граничне число циклів навчання; перевищено максимальний час, виділений на навчання.

Експериментальні дослідження. При проведенні сканування композитних матеріалів за допомогою вихорострумового перетворювача отримуються три форми сигналів унімодальний, пологий унімодальний та бімодальний. Унімодальний сигнал з максимальною амплітудою характеризує дефекти, які перевищують розміри перетворювача, а бімодальні з найбільшим провалом вершини належать до точкових дефектів [6].

В роботі запропоновано дослідити модельні сигнали, які одержуються при скануванні поверхні композитів [5] та описуються формулою:

$$y(x) = \exp(-1,5x^2) - k * \exp(-3x^2), \quad (6)$$

де k змінюється від 0 до 1: при $k = 0$ ч 0.35 одержуємо вузький унімодальний сигнал, котрий характеризує довгі тріщини, довжина яких перебільшує зону контролю. При зміні $k = 0.35$ ч 0.55 отримуємо положистий унімодальний сигнал, характерний для тріщин меншої розмірності. Беручи $k = 0.6$ ч 1 отримуємо бімодальний сигнал, який мають маленькі тріщини (при $k = 1$ – точковий дефект).

На теперішній час для моделювання нейронних мереж існує велика кількість програмного забезпечення. В роботі запропоновано використовувати інструментарій Neural Networks Toolbox пакету прикладних програм MATLAB R2010b, котрий забезпечений широким набором команд й функцій для проектування та дослідження як статичних, так і динамічних нейронних мереж.

Мета дослідження – створити нейронну мережу, котра спроможна розпізнавати візуальний образ сигналів.

В роботі за допомогою розробленої функції *create_pic_of_sign.m* та формули (6) створюються зображення сигналів в градаціях сірого розміром 21х13. Далі виконується конвертація значень сигналу з одновимірної матриці в двовірну та проводиться кодування наступним чином. За кожною коміркою по ширині закріплені координати перетворювача по осі x , а по висоті – значення сигналу у цих точках так, щоб сама нижня комірка приймала значення від 0 до 0,077, а найвища – від 0,924 до 1,001. Після виконання конвертації сигналу отримуємо двовірну матрицю, в якій кожна точка сигналу відповідає нулю у відповідній комірці. За допомогою вбудованої в середовище Matlab функції *imwrite(A,filename)* створюємо зображення в градаціях сірого.

Для перегляду зображень сигналів створена функція *plotsign(c)*, за допомогою якої можна побачити сигнали унімодальної (рис. 1) та бімодальної (рис 2) форми.

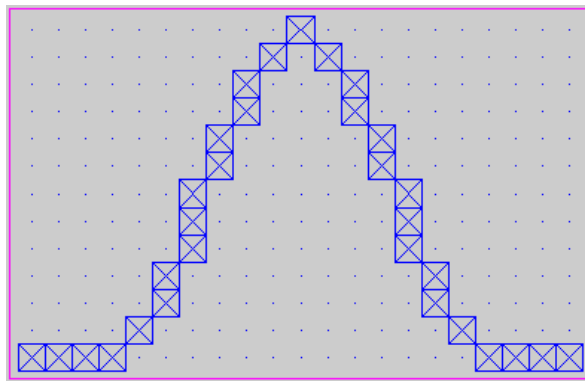


Рисунок 1 – Унімодальний сигнал

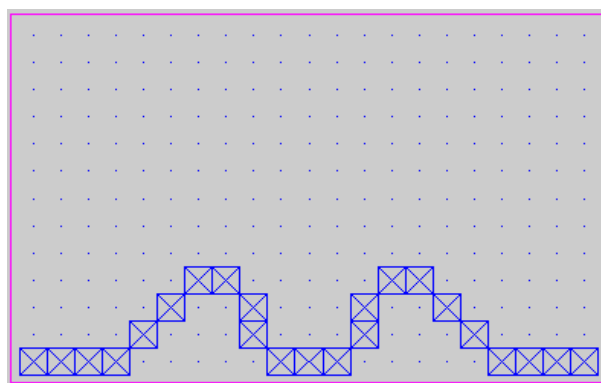


Рисунок 2 – Бімодальний сигнал

Для використання створених зображень у середовищі Matlab необхідно імпортувати та обробити ці зображення. Для цього створена функція *Imgread_m(x)*, яка після імпорту рисунка обробляє його наступним чином. Оскільки зображення збережені в градаціях сірого, тобто значення кожного пікселю лежать у проміжку 0 ч 255, а для експериментів використовується логічний формат кодування «1» або «0». Необхідно провести заміну значення 0 на 1, а 255 на 0. Після обробки двовірна матриця конвертується у вектор з 273 елементів, а функція *Imgread_m(x)* повертає у середовище цей вектор.

В процесі дослідження до створених сигналів добавлялись значення шуму. Для цього розроблена функція *noise_img(img, n_p)*, яка дозволяє додавати шум-точки на зображення сигналів. Наприклад, додамо 25 шум-точок на зображення унімодального сигналу (рис. 3).

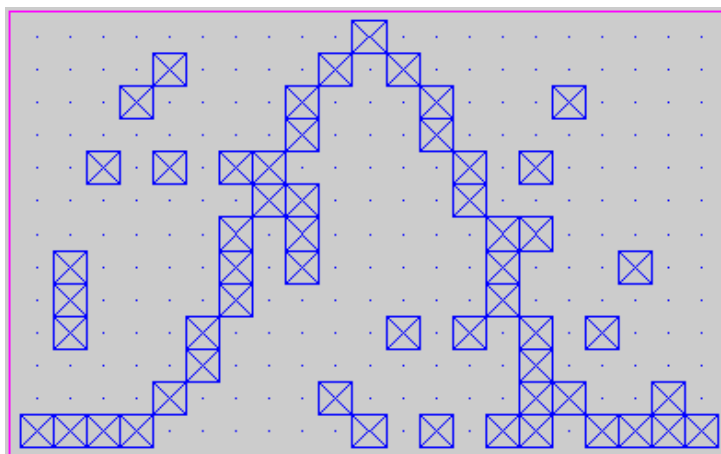


Рисунок 3 – Унімодальний сигнал з 25 шум-точками

Для розпізнавання сигналів використовувалась двошарова нейронна мережа - багатошаровий пересептрон з 273 нейронами у вхідному шарі (кількість компонентів вхідного вектора), 30 нейронів у прихованому шарі та 2 нейрони у вихідному шарі (за кількістю компонент вихідного вектора).

Для створення нейронної мережі прямого поширення застосовували функцію *feedforwardnet (hiddenSizes,trainFcn)*, де *hiddenSizes* – вектор-рядок з одного або декількох розмірів прихованого шару; *trainFcn* – функція навчання.

Для перевірки ефективності створеної нейронної мережі тестування проводилось на трьох зображеннях сигналів: унімодальна форма, полога унімодальна форма та сигнали бімодальної форми. Спочатку навчання проводилось на модельних сигналах без шуму. Потім на сигналах, до яких додавали 30 шум-точок[6]. Створені дві структури нейронних мереж містили в прихованому шарі 30 нейронів та використовували логістичну сигмоїдальну функцію (*logsig*). Вихідний шар складався з 3 нейронів (за кількістю форм сигналів) та застосовував лінійну функцію (*purelin*).

Тестування проводилось наступним чином: на створену нейронну мережу подавались зображення сигналів, до яких поступово додавались шум-точки в діапазоні від 0 до 100. Для кожного значення шум-точок формувалось 100 зашумованих послідовностей і підраховувався вихід мережі. Вихідний сигнал оброблявся М-функцією *compet* з метою вибрати один з трьох сигналів. Після цього оцінювалась кількість помилок класифікацій та підраховувався процент помилок. Відповідний графік похибок мережі наведено на рис. 4.

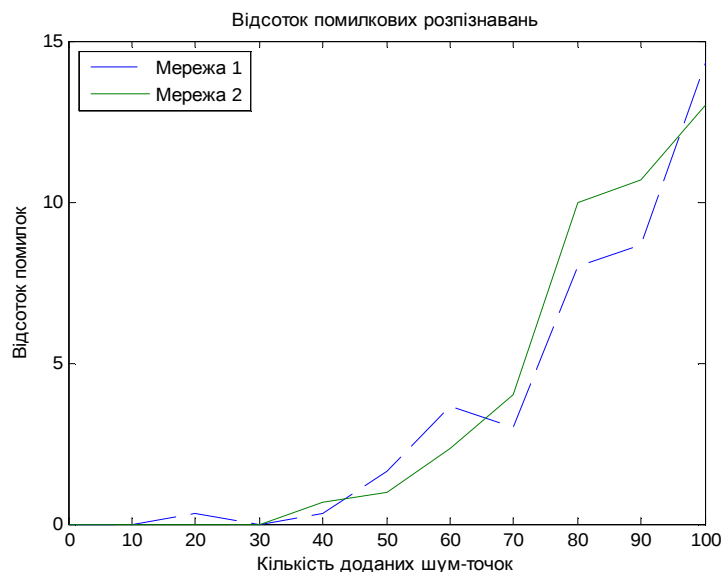


Рисунок 4 – Помилки створеної мережі від кількості шум-точок

В ході подальших експериментів створену нейронну мережу застосовували таким чином. Навчання проводилось на зображеннях двох сигналів унімодальному (при $k=0.1$) та бімодальному (при $k=0.9$). Використовувалась та ж сама двошарова нейронна мережа. Тільки у прихованому шарі застосовувалось 30 нейронів, у вихідному шарі використовувалось 2 нейрони, оскільки працювали по черзі з двома формами сигналів. Для кожного типу сигналів використовувалось 1000 прикладів для навчання, яке проводилось на модельних та окремо на зашумованих сигналах.

Тестування мережі проводилось для різних значень k із формули (6), які не брали участі в процесі навчання. Використовували 500 прикладів для кожного типу сигналів та послідовно додавали шум-точки в діапазоні від 0 до 70, потім знаходили середнє значення для кожного значення шум-точки. Отримані результати наведені в таблицях 1 та 2.

Таблиця 1

Оцінка похибок нейронної мережі при навчанні
на модельних сигналах

Сигнал для тестування роботи мережі	0	10	20	30	40	45	50	55	60	65	70
$k=0$	100	97.8	90.8	88.4	84.8	83.6	82.6	79.6	79.4	80.6	76.6
$k=0.2$	100	98	95	92.4	89.2	89.4	88.8	86	83.8	86.2	88.2
$k=0.3$	100	82.6	72.8	73	76.4	71	71.4	67.4	71.4	73	70.4
$k=0.6$	100	99.6	99	95.6	92.2	91.4	88	87.4	82.4	82.4	78.2
$k=0.8$	100	99.6	98.2	95.6	93.4	90.8	89.4	87	85.4	84.4	80.4
$k=1$	100	99.8	98.4	95.4	92.4	92.6	89.6	87	84.8	81.2	81.6

Оцінка похибок нейронної мережі при навчанні на сигналах з шумом

Сигнал для тес- тування роботи мережі	0	10	20	25	30	35	40	45	50	55	60	65	70
k = 0	100	99	99.4	99.4	99	99.4	99.2	99.4	99.2	99	98.8	99	98.4
k = 0.2	100	100	100	100	100	100	100	100	99.8	99.6	99.8	99.8	99.4
k = 0.3	100	99.8	99	98.8	98.2	98.4	98.6	98.2	97.6	97.6	97.2	95.8	96.6
k = 0.6	100	99.6	98.8	98.4	96.6	95	96.2	95.6	92.2	93.2	89.2	86.4	87.2
k = 0.8	100	96.2	90.2	89.8	90	91.6	89.6	87	89.6	87.2	87.4	85.2	84
k = 1	100	100	100	100	100	100	100	100	100	99.8	99.8	99.8	99.6

Висновки. Проведені дослідження показали принципіальну можливість застосування нейронних мереж для розпізнавання сигналів, які представлені візуальними образами. Навчання мережі на різних наборах сигналів з шумом дозволило навчити її працювати з спотвореними даними, що характерно при проведенні неруйнівного контролю у реальних умовах.

Створена нейронна мережа демонструє якість розпізнавання приблизно 90%, якщо до ідеального сигналу додається не більше 30% шум-точок від загальної кількості точок на зображенні.

Дослідження показали, що при навчанні нейронної мережі на сигналах з шумом, вона демонструє кращі результати розпізнавання образів сигналів.

ЛІТЕРАТУРА

1. Хайкин С. Нейронные сети: полный курс, 2-е изд.: Пер. с англ. – М.: Издательский дом «Вильямс», 2006.
2. Аксенов С.В. Организация и использование нейронных сетей (методы и технологии) / С.В. Аксенов, В.Б. Новосельцев . – Томск: Изд-во НТЛ, 2006. – 128 с.
3. Медведев В.С. Нейронные сети. MATLAB 6 / В.С. Медведев, В.Г. Потемкин – М.: ДИАЛОГ-МИФИ, 2002. – 496 с.
4. Дьяконов В., Круглов В. Математические пакеты расширения MATLAB. Специальный справочник. – СПб.: Питер, 2001. – 480 с.
5. Хандецкий В.С. Спектральная идентификация сигналов в дефектоскопии композитов с использованием теории статистических испытаний / Хандецкий В.С., Герасимов В.В. // Вісник ДНУ: Фізика. Радіоелектроніка. – Дніпропетровськ: – 2003. № 10. – С. 128 – 132.
6. Матвеева Н.А. Моделирование нейросети для решения задачи классификации в дефектоскопии // Системні технології. Регіон. міжвуз. зб. наук. праць. - Дніпропетровськ: ДНВП «Системні технології», 2011. -Вип. 1(72). - С. 37-44.

**THE THEORETICAL BASIS OF THE INFORMATIONAL
TECHNOLOGY OF NONSTATIONARY
ELECTROMAGNETIC TESTING FOR ORTHOTROPIC
DISSIPATIVE COMPOSITES**

Abstract. Analytical spacial-temporal distributions of tangential projections of eddy currents, induced by a rectangular contour of nonstationary external excitation, under a composite surface have been obtained.

Keywords: orthotropic composites, dissipative loss, eddy currents, skin-effect.

Introduction. The electromagnetic field spreading is accompanied by a decrease of its characteristics intensity. An energy lost transmittes to electrodynamic system microparticles and its environment with the transformation to a heat. The *dissipative* loss taked into account gives rise to the self-consistent problem of electromagnetic field interacting with the microparticles ensemble of electrodynamic system [1].

A more constructive approach that simplifies the problem conception is given by the macroscopic electrodynamic, based on the classic theory of electromagnetic field [1].

Constructional elements of electrodynamic system are often made with the help of reinforcing fibrils or their twistes, providing best mass-durability properties and a resistance to thermal and chemical influences. Thus, carbon and graphite *composites* are widely used in an engineering.

The unidirectional reinforcement is wide-spread and relatively to its orientation composites have the characteristics and properties symmetry, including an electrical conductivity, so they are called by *orthotropic* (orthogonal-anisotropic) [2]. Conductivities ($\sim 10 \div 10^3 \text{ Sm/m}$) along and across to the reinforcing direction of carbon composites differ by no more than several times. If a conductivity of neighboring fibrils deteriorates locally towards to the direction of a reinforcing then it identifies the composite continuity defect.

To create *the information technology of nonstationary electromagnetic testing* of orthotropic composites it is necessary to have mathematical models based on electrodynamics boundary problems solutions. A simplification of such solutions is achieved by using the method of integral equations (IR), which has broad functionality, guaranteed accuracy of calculations and a relatively small time of preparation for the problem computer solving [4].

When the secondary sources method is used the boundary problem is reduced to equivalent IP used Green function [5]. Thus, for the conductivity equation IP is an expression for the double layer potential [6], which is non-zero in the area, expanded over time, and given by both an external current density of exciting contour and its location. The fundamental solution of the conductivity equation is Green function therefore initial and boundary conditions can be replaced by a system of point sources [6], for which the problem is solved separately; its general solution is a superposition of elementary solutions.

For the electromagnetic testing of manufactured articles unbroken most boundary problems of electrodynamics have been solved in a case of quasi-monochromatic fields that sound nondissipative electrodynamic systems.

The aim of the study. To obtain analytically spatial-temporal distributions of tangential projections of eddy currents density, induced by a rectangular contour of external nonstationary excitation, under the plane surface of orthotropic dissipative composite.

Main part. The geometric center of rectangular contour with size $2a \times 2b$ have been placed at the beginning of right system of Cartesian coordinates. The plane contour is distanced by a clearance h from the composite surface. Contour sides as abscissa and ordinate axes are oriented along and across to the reinforcement direction (Fig. 1). Along the contour the external nonstationary current with density $J(t) = J_0 f(t)$ runs, where J_0 is the amplitude, but $f(t)$ is the bending ($|f(t)| \leq 1$).

The probing field generated by a rectangular contour of external current, that is parallel to the composite surface has three non-zero components of its characteristics: a) tangential E_x and E_y of electrical intensity; b) normal H_z of magnetic intensity.

x -, y -projection of electrical intensity polarizes the composite more than the air so far as $\varepsilon_0 < \varepsilon$. Since tangential projections of electrical intensity are continuous on the border "air-composite", there are no free surface charges, but there are compensated surface charges [7], which form the so-called dipole layer (Fig. 1, a).

Since the composite is a thicker environment, it contains more elementary dipoles (Fig. 1, a) on the border. The normal projection of magnetic intensity is discontinuous that is determined by the permeability ratio [7]: $(H_z)_0 / (H_z)_k = \mu_k / \mu_0$, where indices '0' and 'k' indicate the air and the composite, respectively. Zero tangential projection of magnetic intensity ensures that surface currents do not run [7] due to the movement of free charges.

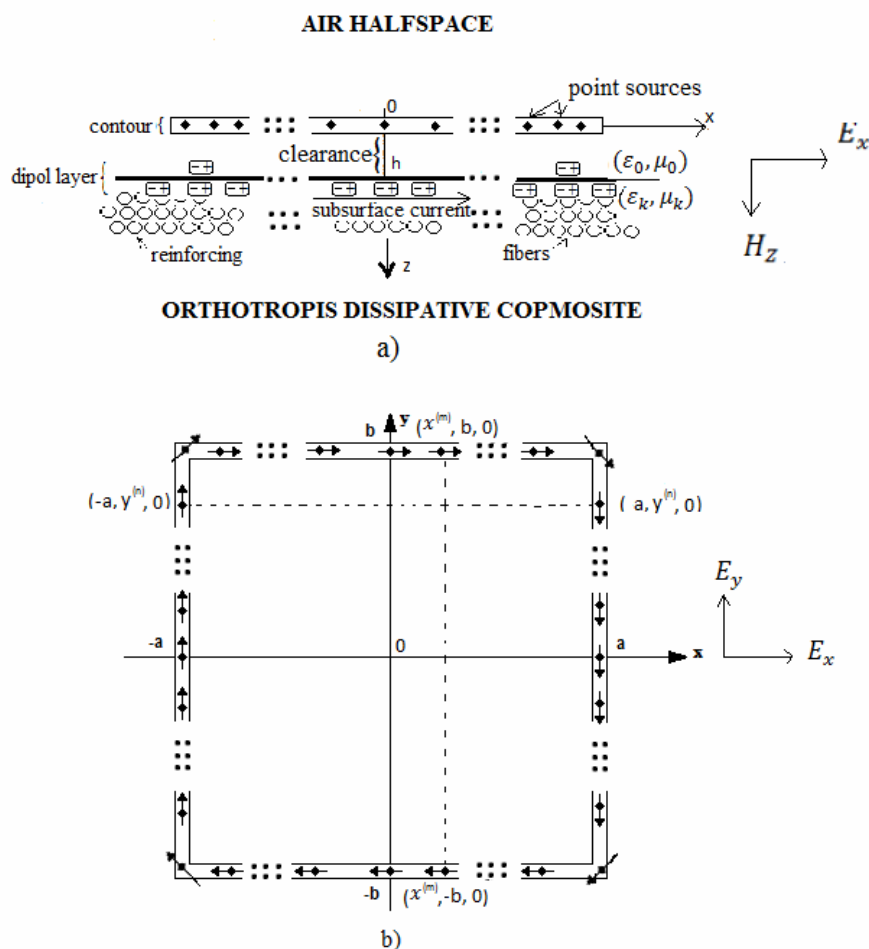


Figure 1 - The electromagnetic testing of orthotropic dissipative composite by the rectangular current contour, represented by point sources $(-\leftrightarrow-)$: a) composite cross-section, side view; b) view from above

Under the influence of the normal projection of magnetic intensity the composite is magnetized, and near its surface molecular currents take place [7]. In consequence the non-zero total subsurface current has been created.

Based on IP for nonstationary differential equations of general electrical conductivity as a basic expression for double layer potential, in [8] it is showed that x -, y -projections of elementary eddy currents, induced in the composite by each of (m, n) -four ($m \in [-a, a]$, $n \in [-b, b]$) point sources, located on opposite sides of the contour, with the coordinates $(x^{(m)}, -b, 0)$ and $(x^{(m)}, b, 0)$, also $(-a, y^{(n)}, 0)$ and $(a, y^{(n)}, 0)$, is given by equalities:

$$j_{x,y}^{\pm}(x, y, z, t) = \pm \frac{\mu_0 J_0}{4\pi \sigma_{x,y} r_{x,y}^{\pm}} \frac{\partial}{\partial z} \left\{ \lim_{\tau \rightarrow t} \sqrt{\frac{\mu_0 \sigma_{x,y}}{4\pi(\tau - t)}} \exp \left[-\frac{\mu_0 \sigma_{x,y}}{4(\tau - t)} (z - h)^2 \right] \right\} \times \\ \times \int_{r_{x,y}^{\pm}/c}^t H_{x,y} \left(\tau - \frac{r_{x,y}^{\pm}}{c} \right) \cdot \frac{df(t - \tau)}{d\tau} d\tau, \quad (1)$$

if x - and y -projections of the distance of composite surface (x, y, h) -point from contour $(x^{(m)}, \mp b, 0)$ - and $(\pm a, y^{(n)}, 0)$ -elements are equal:

$$r_{x,y}^{\pm} = \sqrt{(x - x^{(m)})^2 + (y \pm b)^2 + h^2}, \quad r_{x,y}^{\pm} = \sqrt{(x \pm a)^2 + (y - y^{(n)})^2 + h^2}. \quad (2)$$

In the equality (1) following designations are used: μ_0 is the air permeability; $\sigma_{x,y}$ is the composite conductivity along the x -, y -coordinate; t and τ are time and its delay;

$$H_{x,y}^{\pm} \left(\tau - \frac{r_{x,y}^{\pm}}{c} \right) = \frac{2U(\tau - \frac{r_{x,y}^{\pm}}{c})}{I_0 \left\{ 2 \sqrt{-i \frac{\sigma_{x,y}}{4\pi \varepsilon_0 c}} \left[\int_0^{\sigma \tau} I_0(d_{x,y} \rho) dp - r_{x,y}^{\pm} \right] \right\}} \quad (i = \sqrt{-1}) \quad (3)$$

is x -, y -projection of composite surface passing characteristics, $U(\tau)$ is the single step function; ε_0 and c are the dielectric constant and the field propagation speed in the air; I_0 is the modified Bessel function 0-order, in particular, the outer one is depended from a complex argument, and the internal one has a real variable; $d_{x,y}$ is the square root of dissipation factor $d_{x,y}^2$ along the x -, y -coordinate.

In curly brackets the equation (1) has an expression that approximates a delta-function [9]. The derivative from $\delta(z - h)$ with re-

spect to the variable z equals to zero if $z = h$. Therefore, in transitional and stationary modes tangential projections of eddy currents density are equal to zero [7] on the dipole layer outside of the composite surface.

After a differentiation with respect to the variable z the expression in curly brackets from an equation (1) has the damped exponent, which is functionally depends on the depth square $(z - h)^2$ in the composite (skin-effect) [10] and on the approaching ($\tau \rightarrow t$) to the border of field spreading domain in the transition mode.

If we equate to zero the derivative from the equation (1) with respect to the variable z an applicant gets the value $z = h + \lim_{\tau \rightarrow t} \sqrt{2(t - \tau)/\mu_0 \sigma_{x,y}}$, which is approached to the dipole layer inside near the border of field spreading domain ($\tau \rightarrow t$) on the composite surface. That's where extreme tangential projections of eddy currents density are induced by a point source:

$$j_{x,y}^{sx} = \pm \frac{\mu_0 J_0}{4\pi \sigma_{x,y} r_{x,y}^{\pm}} \lim_{\tau \rightarrow t} \frac{\mu_0 \sigma_{x,y}}{\sqrt{2\pi(t-\tau)}} \int_{r_{x,y}^{\pm}/c}^t H_{x,y}(\tau - \frac{r_{x,y}^{\pm}}{c}) df(t - \tau). \quad (e = 2.71828) \quad (4)$$

x - and y -projection of eddy currents density inducted in the composite are defined by differences of equation (1) taken with the sign "+" and "-", then integrated for $x^{(m)}$ from $-a$ to a if it uses the index "x" and for $y^{(n)}$ from $-b$ to b if it uses the index "a", respectively:

$$j_x^{\pm}(x, y, z, t) = \int_{-a}^a [j_x^{+}(x, y, z, t; x^{(m)}) - j_x^{-}(x, y, z, t; x^{(m)})] dx^{(m)} = \\ - \frac{\mu_0 J_0 (z-h)}{4\pi \sigma_x} \lim_{\tau \rightarrow t} \left[\frac{1}{4} \sqrt{\frac{\mu_0^2 \sigma_x^2}{\pi(t-\tau)^2}} \exp \left[-\frac{\mu_0 \sigma_x (z-h)^2}{4(t-\tau)} \right] \right] \times \\ \times \int_a^{-a} \left[\frac{1}{r_x^{\pm}} \int_{r_x^{\pm}/c}^t H_x^{+}(\tau - \frac{r_x^{\pm}}{c}) df(t - \tau) - \frac{1}{r_x^{\mp}} \int_{r_x^{\mp}/c}^t H_x^{-}(\tau - \frac{r_x^{\mp}}{c}) df(t - \tau) \right] dx^{(m)}, \quad (5)$$

$$j_y^{\pm}(x, y, z, t) = \int_{-b}^b [j_y^{+}(x, y, z, t; y^{(n)}) - j_y^{-}(x, y, z, t; y^{(n)})] dy^{(n)} = \\ - \frac{\mu_0 J_0 (z-h)}{4\pi \sigma_y} \lim_{\tau \rightarrow t} \left[\frac{1}{4} \sqrt{\frac{\mu_0^2 \sigma_y^2}{\pi(t-\tau)^2}} \exp \left[-\frac{\mu_0 \sigma_y (z-h)^2}{4(t-\tau)} \right] \right] \times \\ \times \int_b^{-b} \left[\frac{1}{r_y^{\pm}} \int_{r_y^{\pm}/c}^t H_y^{+}(\tau - \frac{r_y^{\pm}}{c}) df(t - \tau) - \frac{1}{r_y^{\mp}} \int_{r_y^{\mp}/c}^t H_y^{-}(\tau - \frac{r_y^{\mp}}{c}) df(t - \tau) \right] dy^{(n)}, \quad (6)$$

$r_x^{\pm} = r_x(x - x^{(m)}, y \pm b)$, $r_y^{\pm} = r_y(x \pm a, y - y^{(n)})$ defined by formula (2).

Conclusions. Theoretical foundations of the information technology of nonstationary electromagnetic testing of orthotropic dissipative composites have been laid. Based on the integral equation for general conductivity differential equation as an expression for double layer potential, analytical spatial-temporal distributions of tangential projections of eddy currents density, induced by the rectangular contour of external nonstationary excitation, under the composite surface have been obtained.

It is shown that during transient and stationary modes zero tangential projections of eddy currents density have place on the dipole layer outside of composite surface.

It is proved that skin-effect has place when the exponential decrease of eddy currents density depends on the depth square into the composite and an approaching to the boundary of field spreading domain in the transient mode.

It is shown that in a current time values of tangential projections of eddy currents density become extreme when an approaching both to the dipole layer inside on the composite surface and to the boundary of field spreading domain in the transient mode.

REFERENCES

1. Ilyinsky A.S., Slepian G.Y. Vibrations and Waves in electrodynamical systems with loss. - Moscow: MGU, 1983. - 232p.
2. Composite Materials: A Guide / Under red.D.M.Karpinosa. - K.: Nauk.dumka, 1985. - 591p.
3. Kravchenko A.N. Boundary characteristics in electrodynamic problems. - Kiev: Nauk.dumka, 1989. - 224p.
4. Tozoni O.V., Mayergoyz I.D. Calculation of three-dimensional electromagnetic fields. - Kiev: Tehnika, 1974. - 352p.
5. Tikhonov A.N., Samarsky A.A. Equations of mathematical physics. - M.: Nauka, 1977. - 736p.
6. Farlow S.J. Partial Differential Equations for Scientists and Engineers. - M.: Mir, 1985. - 384p.
7. Wolman V.I., Pimenov Y.V. Technical electrodynamics. - M.: Communication, 1971. - 487p.
8. Pashchenko V. The Boundary Elements Modelling of Eddy Currents in the Orthotropic Composite// Proceeding of 15th International Conference on Mathematical Methods in Electromagnetic Theory. - Dnipropetrovsk, 2014. - PP.101-104.
9. Van der Pol B., Bremmer H. Operational calculus on the basis of two-sided Laplace transform. - M.: Publishing House IL, 1952. - 508p.
10. Bredow M.M., Rummyantsev V.V., Toptygin I.N. Classical electrodynamics. - M.: Nauka, 1985 - 400p.

И.В. Пономарев, А.Р. Чухало

ОСОБЕННОСТИ РАЗРАБОТКИ САЙТА С ПОМОЩЬЮ ASP.NET MVC FRAMEWORK

Аннотация. Предложена последовательность действий для создания сайта с помощью MVC технологии. В основе архитектуры разрабатываемого продукта используется шаблон послойной архитектуры, который упрощает работу программиста.

Ключевые слова: ASP.NET, FRAMEWORK, многослойная архитектура, MVC, модель, представление, контроллер.

Введение. Будучи альтернативой технологии Web Forms, ASP.NET MVC использует другой подход к вопросу структурирования веб-приложений. Это означает, что не придется иметь дело с ASPX-страницами и элементами управления, обратными запросами или ViewState, а также жизненными циклами сложных событий. Вместо этого определяются контроллеры, действия и представления.

Постановка задачи. Необходимо рассмотреть особенности разработки сайта с помощью ASP.NET MVC FRAMEWORK, которая позволяет решить проблему костного дизайна приложения и сконцентрироваться на разработке конкретного слоя программы.

Основная часть.

Описание ASP.NET MVC FRAMEWORK.

MVC — это фундаментальный паттерн, который нашел применение во многих технологиях, дал развитие новым технологиям и каждый день облегчает жизнь разработчикам [1]. Рассмотрим составные части платформы [2].

Модель.

Под моделью понимается часть программы, содержащая в себе функциональную бизнес-логику приложения. Модель должна быть полностью независима от остальных частей продукта. Модельный слой ничего не должен знать об элементах дизайна, и каким образом он будет отображаться. Таким образом, достигается результат, позво-

ляющий менять представление данных, и то как они отображаются, не трогая саму модель. Модель обладает следующими признаками:

- модель — это бизнес-логика приложения;
- модель обладает знаниями о себе самой и не знает о контроллерах и представлениях;
- для некоторых проектов модель — это просто слой данных (DAO, база данных, XML-файл);
- для других проектов модель — это менеджер базы данных, набор объектов или просто логика приложения.

Представление.

В обязанности представления входит отображение данных полученных от модели. Однако, представление не может напрямую влиять на модель. Можно говорить, что представление обладает доступом «только чтения» данных. Представление обладает следующими признаками:

- в представлении реализуется отображение данных, которые получаются от модели любым способом;
- представление, в некоторых случаях, может иметь код, реализующий некую бизнес-логику.

Примеры представления: HTML-страница, WPF форма, Windows Form.

Контроллер.

Контроллер преобразует действия пользователя (в данном контексте, пользователь – не обязательно человек) во входящие параметры для модели и передает управление в модель:

- загружает переменные окружения (POST/GET переменные, параметры командной строки, URL параметры и т. д.);
- выполняет первичную обработку переменных окружения (проверка типов переменных, их наличие, установка значений по умолчанию и т. д.);
- реализует механизмы контроля за внештатными ситуациями;
- реализует механизмы логирования (не аутентификации, а ведение журналов).

Последовательность разработки сайта. Для начала необходимо разработать спецификации для пользовательской и административной части. Они должны включать в себя описание основных View-

элементов и соответствующий функционал, который может быть выполнен. В основе архитектуры продукта используется шаблон послойной архитектуры (View Model). При этом разработанное программное решение состоит из пяти слоев, каждый из которых не имеет жестких связей с остальными.

1. Слой сервер, который содержит в себе интерфейсы пользовательских и административных форм, их контроллеры.

2. Репозиторий, который содержит в себе интерфейс с набором общих CRUD операций и класс с их реализацией.

3. DAL-слой, в котором осуществляется создание базы, посредством Entity Framework.

4. Слой бизнес-логики, который реализует основной функционал для слоя моделей.

5. Слой моделей, которые являются промежуточным слоем между базой данных и бизнес-логикой.

Пример реализации.

В качестве платформы для реализации выбран .Net Framework – мощный, современный, удобный в использовании, инструмент разработки прикладных программ, предоставляющий обширную стандартную библиотеку.

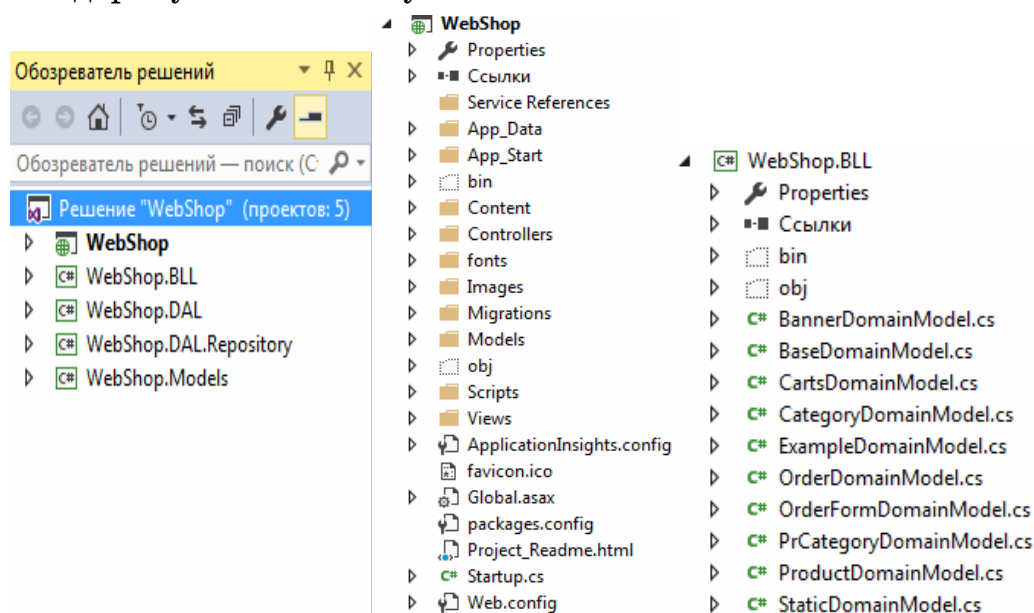


Рисунок 1 - Диаграмма решения и основных слоев сайта

В качестве примера реализации разработан сайт по продаже электроники «WebShop» (рис.1). Рассмотрим статические страницы сайта «WebShop».

Таблицы в базе: *public class ShopEntities: DbContext*

```
{
    public DbSet<Client> Clients { get; set; }
    public DbSet<ClState> ClStates { get; set; }
    public DbSet<Image> Images { get; set; }
    public DbSet<Order> Orders { get; set; }
    public DbSet<OrderState> OrderStates { get; set; }
    public DbSet<Product> Products { get; set; }
    public DbSet<ProductCategory> ProductCategories { get; set; }
    public DbSet<ProductOrder> ProductOrders { get; set; }
    public DbSet<PrCategory> PrCategories { get; set; }
    public DbSet<Static> Statics { get; set; }
    public DbSet<Cart> Carts { get; set; }
    public DbSet<OrderCart> OrderCarts { get; set; }
    public DbSet<Comment> Comments { get; set; }
}
```

Модель данной таблицы:

```
public class StaticModel : ViewModelBase<int>
{
    public Int64 Static_id { get; set; }
    public string About_shop { get; set; }
    public string Sales { get; set; }
    public string Delivery { get; set; }
}
```

Бизнес-логика:

```
public class StaticDomainModel : BaseDomainModel
{
    public void AddStatic( )
    {
        using (var repository = new BaseRepository<Static,
int>())
        {
            //repository.Insert(new Static { Title = "Test1" });
        }
    }
    public IEnumerable<StaticModel> GetAll( )
    {
        using (var repository = new BaseRepository<Static,
int>())
        {
            var list = repository.Query( ).Select(x => new
StaticModel
{ Static_id = x.Static_id, About_shop = x.About_shop,
Delivery = x.Delivery, Sales = x.Sales }).ToList();
        }
    }
}
```

```
        return list;
    }
}
public Static GetById(int id)
{
    using (var repository = new BaseRepository<Static,
int>())
    {
        return repository.Get(id);
    }
}
```

Пример страницы «Скидки»:

```
@model IEnumerable<WebShop.Models.StaticModel>
@{
    ViewBag.Title = "Акции";
}
<h2>@ViewBag.Title</h2>
<p>
    @foreach (var item in Model)
    {
        <tr>
            @Html.DisplayFor(model => item.Sales)
        </tr>
    }
</p>
```

Выводы. В работе рассмотрена основа программного решения создания сайта с помощью технологии MVC. Определяется архитектура продукта, разрабатывается общая схема взаимодействия слоев программы. Платформа ASP.NET MVC позволяет создавать программы со слабо связанными слоями. Это дает возможность программировать каждый слой независимо друг от друга, таким образом, облегчая работу разработчиков, позволяя сконцентрироваться на конкретной задаче.

ЛИТЕРАТУРА

1. Мартин Фаулер Шаблоны корпоративных приложений. Пер. с англ. – М.: Издательский дом «Вильямс», 2012. - 544 с.
2. Адам Фримен ASP.NET MVC 5 с примерами на C# 5.0 для профессионалов. Пер. с англ. – М.: «Издательский дом «Вильямс», 2016. - 736 с.

О.М. Прокопчук, С.М. Вовк

КОМП'ЮТЕРНА СИСТЕМА СТЕРЕОЗОРУ ДЛЯ ВИЗУАЛЬНОГО ВИЗНАЧЕННЯ ВІДСТАНЕЙ ДО ОБ'ЄКТІВ

Анотація. На основі бібліотеки OpenCV та додатково розроблених функцій пропонується комп'ютерна система стереозору для візуального визначення відстаней до об'єктів, поміж об'єктами та на об'єктах. Система працює на базі програмної платформи Microsoft .NET Framework і використовує бібліотеку Emgu CV в якості бібліотеки-обгортки для OpenCV. Під час її роботи зображення отримуються або безпосередньо від камер стереопари, підключених до комп'ютера, або з файлів на диску. Визначення відстаней здійснюється або в автоматичному режимі через відповідні функції бібліотеки OpenCV, які пов'язані з розпізнаванням об'єктів за їх шаблонами, або в інтерактивному режимі шляхом використання додатково розроблених функцій, які пов'язані з виокремленням точок на об'єктах.

Ключові слова: стереозір, автоматичний, OpenCV, Emgu CV.

Вступ

Автоматичний аналіз і обробка візуальних даних, отриманих від систем стереоскопічного зору, є важливою галуззю інформаційних технологій. Розвиток даної галузі обумовлює можливість створення досконалих систем навігації для автономних роботів, розширення можливостей відеоспостереження для цивільних та військових потреб, а також дає поштовх для інновацій в промисловості та сфері розваг. В поданій роботі пропонується комп'ютерна система стереозору, яка надає можливість роботи як в автоматичному режимі за допомогою функцій бібліотеки OpenCV, які пов'язані з розпізнаванням шуканих об'єктів за їх шаблонами, так і в інтерактивному режимі шляхом використання додатково розроблених функцій, які пов'язані з виокремленими точками (маркерами) на об'єктах. При цьому функціонал бібліотеки OpenCV використовується через бібліотеку-обгортку Emgu CV.

Постановка завдання

Постановка задачі полягає у створенні комп'ютерної системи стереозору на базі відповідних бібліотек з відкритим програмним кодом та з можливостями автоматичного й інтерактивного аналізу зображень стереопари, пошуку об'єктів і обчислення відстаней до них, відстаней поміж ними та відстаней на них.

Основна частина

Звичайно система комп'ютерного стереозору повинна передбачати роботу з зображеннями стереопари незалежно від шляху їх отримання (захоплення з цифрових камер, зчитування з файлів, отримання окремих кадрів з відео), а також можливість аналізу та обробки зображень для вибору бажаного алгоритму роботи. Для розробки такої системи можна використати програмну платформу Microsoft .NET Framework 4.0, а для обробки зображень - популярну бібліотеку OpenCV 3.0 з відкритим програмним кодом. В цьому випадку в якості мови розробки можна використати C#, що передбачає використання бібліотеки-обгортки Emgu CV для можливості звертання до функцій OpenCV.

Перший крок алгоритму роботи відповідної системи полягає у зчитуванні пари зображень, отриманих за стереоскопічним принципом. Такі зображення можуть бути отримані шляхом безпосередньої передачі з камер, виділені у відеоряді або зчитані з файлів на диску [1]. Для типової системи стереозору з двома камерами (рис.1) важливим є одночасне отримання інформації з обох камер. Якщо сцена, що спостерігається камерами, є статичною і рух камер не передбачається, тоді одночасна зйомка не є критичним параметром. Бібліотека OpenCV надає спеціалізований клас CvCapture, який дозволяє реалізувати роботу з камерами та відео, і клас IplImage для роботи з файлами зображень.

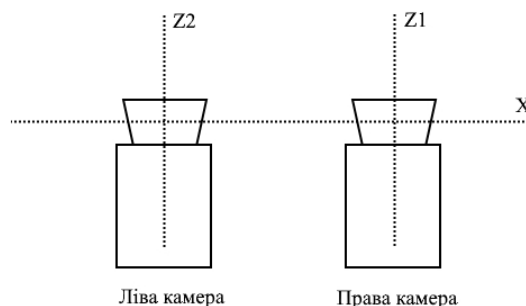


Рисунок 1 - Типове компонування системи стереозору;
Z1, Z2 – оптичні осі; X - спільна горизонтальна площина

Другий крок алгоритму роботи передбачає попередні перетворення зображень з метою покращення їх якості для подальшої роботи, наприклад, шляхом зменшення шуму на зображеннях за допомогою просторової фільтрації. За допомогою класу Mat бібліотеки OpenCV можна виконувати широкий спектр різних маніпуляцій над зображеннями, використовуючи існуючі чи власні алгоритми обробки [2].

Для третього кроку алгоритму, який передбачає розпізнавання окремих об'єктів на зображенні для подальшого визначення відстані до них, використовується клас Cascade Classification. Даний клас використовує каскад форсованих класифікаторів, що працюють з Хаар-подібними функціями. Клас Cascade Classification вимагає навчальної вибірки для формування пошукового шаблону або може використовувати уже готові файли з результатами навчання для аналізу зображення і виявлення об'єктів певного типу. Результати роботи формуються у вигляді масиву з інформацією про координати областей зображення, які класифіковані згідно пошукового шаблону.

На наступному кроці виконуються стереоскопічні обчислення для визначення відстані до виявлених на зображенні об'єктів. Бібліотека OpenCV надає реалізацію алгоритмів стереозору Block Matching (клас StereoBinaryBM) і Semi Global Block Matching (клас StereoBinarySGBM). Для ефективної роботи даних алгоритмів необхідне виконання чотирьох послідовних етапів:

- 1) стереокалібрування камер в спільній системі координат та отримання матриці проєкцій для кожної з камер;
- 2) ректифікація вхідних зображень стереопари за епіпольярними лініями на основі даних про стереокалібрування камер;
- 3) побудова карти диспарантності (розбіжності) зображення, де замість значень кольору зберігається інформація про розбіжність відповідних пікселів;
- 4) на основі карти диспарантності виконується тріангуляція та визначається відстань в просторі до кожної з точок зображення.

Результати роботи зазначених алгоритмів не завжди мають коректні значення через вплив ряду негативних чинників (необхідність низки початкових припущень про зовнішнє світло, про перекриття частин об'єктів, про наявність великої кількості однакових за яскравістю областей на зображеннях тощо). Хоча дані алгоритми дозво-

ляють достатньо швидко виконати оцінку відстані до багатьох точок на зображеннях [3], але вони не можуть бути використані для роботи в режимі реального часу на малопотужних комп'ютерах. Зіставлення даних про координати областей виявлених об'єктів та відстань до точок в цих областях дозволяє виконати оцінку відстані до об'єкта з усуненням впливу невалідних значень шляхом усереднення значень відстані, які потрапили в міжквартильний розмах.

У наближенні геометричної оптики та на базі моделі камер-обскура стереоскопічні обчислення можна проводити за формулою [4]:

$$D = \frac{Bp_0}{2tg(\frac{\phi_0}{2}) | p_1 - p_2 |}, \quad (1)$$

де D – геометрична відстань між площиною камер та площиною, де знаходиться шукана просторова точка, B – відстань між оптичними осями камер (базова відстань), p_0 – загальна ширина зображення в пікселях, ϕ_0 – кут огляду камер, p_1 – горизонтальна координата точки на першому зображенні в пікселях, p_2 – горизонтальна координата точки на правому зображенні в пікселях. Уведення системи координат з її початком, наприклад, в центрі лівої камери, дозволяє отримувати абсолютні значення відповідних просторових координат.

На основі даних про просторові координати виявлених об'єктів можна визначити точки, які вказують на їх геометричні центри. Обчислення відстані до центральних точок об'єктів згідно (1) дозволяє досить точно визначати відстань, якщо об'єкт має нескладну форму. Зрозуміло, що такий підхід забезпечує високу швидкість отримання результатів через значно менші вимоги до якості вхідних зображень, хоча й не дозволяє виконувати повний аналіз зображень стереопари. Таким чином, (1) можна вважати основою для інтерактивного режиму роботи системи.

Зазначені алгоритми роботи системи втілено у вигляді Windows-додатку. Він надає елементи управління для вибору вхідних файлів або пристроїв, методів попередньої фільтрації та обробки зображень стереопари, інтерфейс вибору файлів з даними для класифікації об'єктів, а також дозволяє обирати один із описаних алгоритмів стереоскопічних обчислень. В залежності від вибору і ресурсів апаратури

тної платформи, на якій працює додаток, можлива реалізація всіх етапів в режимі реального часу.

На рис.2 наведено приклад зображень стереопари, отриманих в автоматичному режимі роботи під час обчислення відстані до обличчя людини шляхом послідовного виконання операцій захоплення зображень з двох камер, їх попередньої обробки та пошука об'єкта за шаблоном з позначенням відповідного результату.

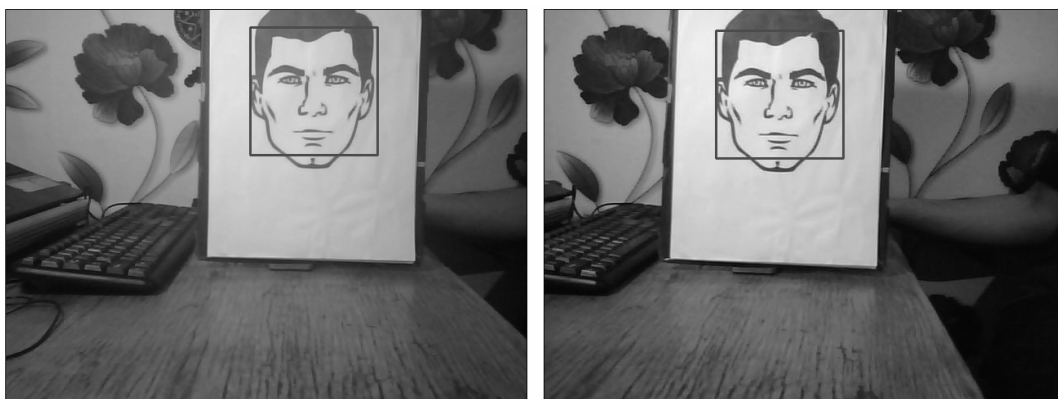


Рисунок 1 - Зображення стереопари

Висновки

На основі функціоналу бібліотеки OpenCV та з використанням бібліотеки-обгортки Emgu CV розроблена комп'ютерна система стереозору у вигляді Windows-додатку, що функціонує на персональному комп'ютері, та двох камер. Алгоритм роботи системи передбачає гнучкий вибір варіантів її функціонування залежно від потреб користувача. Розвиток розробленої системи спрямований на вдосконалення та оптимізацію процесу її роботи, зокрема перехід на архітектуру CUDA для підвищення ефективності та прискорення обробки зображень за допомогою графічних процесорів.

ЛІТЕРАТУРА

1. Tippetts B. Review of stereo vision algorithms and their suitability for resource-limited systems / Beau Tippetts, Dah Jye Lee, Kirt Lillywhite, James Archibald // Journal of Real-Time Image Processing January 2016, Volume 11, Issue 1, pp. 5–25.
2. Vizil'ter Ju.V. Obrabotka i analiz izobrazhenij v zadachah mashinnogo zrenija: kurs lekcij i prakticheskikh zanjatij / Ju.V.Vizil'ter, S.Ju. Zheltov, A.V. Bondarenko, M.V. Ososkov, A.V. Morzhin. – M.:Fizmatkniga, 2010. – 672 s.
3. Stefano M. Stereo Vision Algorithms for FPGAs /Stefano Mattoccia // IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition Workshops. 2013, pp. 636-641.
4. Vovk S.M. Metody obrobky zobrazhen ta kompiuternyi zir / S.M. Vovk, V.V. Hnatushenko, M.V. Bondarenko. – D. : LIRA, 2016. –148 s.

В.В. Спірінцев, А.А. Кушка

**ФРЕЙМВОРК НА БАЗІ МОВИ ПРОГРАМУВАННЯ
SCALA ДЛЯ СТВОРЕННЯ RESTFUL WEB-СЕРВІСІВ**

Анотація. Пропонується фреймворк на базі мови програмування Scala для розробки стандартизованих RESTful веб-сервісів. Проект націлений на застосовування іншими розробниками програмного забезпечення для полегшення розробки веб-додатків, створених за допомогою архітектури мікросервісів.

Ключові слова: фреймворк, веб-сервіси, Scala, REST.

Постановка проблеми. Одним з найбільш важливих питань розвитку веб-додатків є процес взаємодії клієнта із сервером. Довгий час цей процес був довільним для кожного додатку. Така ситуація проіснувала до створення перших протоколів серіалізації даних та механізмів для створення довільних запитів. Поява стандартів для комунікації між клієнтом та сервером дозволила вирішити проблему створення різних клієнтів для одного і того ж серверу. Слід зазначити, що на даний момент існує ряд проблем при створенні стандартизованої та ефективної серверної частини: високий поріг входу для реалізації подібних систем (пов'язаний з відсутністю комплексних інструментів для проектування та реалізації веб-сервісів); наявність певного досвіду в розробці веб-додатків (RESTful веб-сервіси доводиться збирати з окремих компонентів [1]); відсутність або мала кількість прикладів організації веб-сервісів в додатку (пов'язано з закритістю вихідних кодів або навіть будь-яких подробиць реалізації). Тому дослідження в напрямку розробки серверної частини на основі веб-сервісів є актуальними.

Аналіз останніх досліджень. Зараз спостерігається динамічне зростання аудиторії мережі Internet. Для надання якісних послуг користувачам інфраструктура сучасних веб-додатків повинна легко та вчасно масштабуватися. Але при збільшенні проекту стає все складніше дотримуватися стабільності додатку, а швидкість написання нового функціоналу знижується. Вирішенням цієї проблеми є роз-

биття додатку на веб-сервіси, але це збільшує кількість несподіваних ситуацій (проблеми з мережею, неочікуване змінення протоколу передачі даних і т.ін.) [2, 3]. Для їх запобігання необхідно використовувати інструменти, які попередять розробника про наявність помилок. Ефективним засобом для цього є вибір інфраструктури JVM та мови програмування Scala [4], яка має потужний статичний аналізатор та підтримку як об'єктно-орієнтовної парадигми так і функціональної парадигми програмування.

Метою статті є створення фреймворку для швидкої розробки RESTful веб-сервісів на базі мови програмування Scala, який організує роботу між компонентами системи та вирішуватиме наступні проблеми: створення структури додатка; уніфікації взаємодії з веб-сервісом; організації асинхронної роботи веб-сервісу; налаштування кешування сервісу; збірки готового додатку і доставки його на сервер.

Основна частина. Для створення фреймворку була обрана мова програмування Scala. З доступних для JVM платформи інструментів складання коду була обрана система sbt [5]. В якості робочого середовища використовується комп'ютер на базі ОС OS X з використанням віртуальної машини Java версії 8 та Scala компілятору версії 2.11.8. В якості редактору коду обрана IntelliJIdea 2016.1.

На рис. 1 наведено структуру фреймворку.

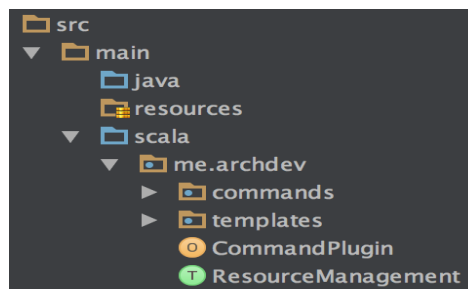


Рисунок 1 - Структура фреймворку

Папка `src` в корені проекту містить усі сирцеві коди фреймворку, папка `main` - сирцеві коди основного додатку; папка `resources` призначена для статичних файлів та `scala` - для коду додатку. `Commands` містить класи для реалізації основного функціоналу фреймворку, `templates` - основи для класів, які фреймворк буде створювати під час роботи. Створений клас `CommandPlugin` використовується в якості агрегатора усіх доступних команд та є основним класом плагіну. `ResourceManagement` є класом для взаємодії з файловою системою користувача плагіну.

Налаштовуємо інструмент складання, щоб мати можливість створювати снапшоти для тестування. Для цього у корені проекту створюємо файл `build.sbt` та налаштовуємо його параметри.

Створення менеджера ресурсів. Одним з основних класів для фреймворку є менеджер ресурсів (використовується для створення та наповнення файлів з кодом програми користувача). Ця задача вирішується завдяки пакету `java.nio`. Особливістю роботи з файлами у пакеті `java.nio` є те, що взаємодія з даними у файловій системі відбувається за допомогою буферів. Завдяки буферам є можливість працювати з великими файлами, послідовно зчитуючи та оброблюючи їх частини. Для створення фреймворку необхідні такі операції як: створення дерев каталогів, створення файлу, читання та запис у файл, запис у кінець файлу та копіювання. Сам клас буде розроблений у форматі трейту – це інтерфейс який може мати базову реалізацію. Основною особливістю його є те, що клас може успадковуватися від безлічі трейтів.

Створення класів для запуску веб-сервера. Для того, щоб користувач фреймворку мав можливість одразу після створення проекту запустити веб-сервер, нам необхідно створити базовий клас. Далі налаштовуємо та запускаємо веб-сервер. В якості веб-серверу буде використана бібліотека `akka-http`, яка надає нам `http-server` написаний на мові `Scala`. Обраний веб-сервер є асинхронним та багато поточним. Його основною конфігурацією є файл з роутингом запитів, у ньому користувач фреймворку має описати структуру посилань для доступу до `RESTful` ресурсів. Після створення функції для генерації базових класів ми маємо призначити команду фреймворка для виклику цієї функції з консолі інструменту складання `sbt`. Для цього використовуємо `TaskKey` з назвою `provision`. Результатом роботи буде створення двох класів у стандартному пакеті користувача: для опису роутингу, для запуску веб-сервісу.

Налаштування роботи з базою даних. Однією з найважливіших особливостей `RESTful` веб-сервісів є відсутність внутрішнього стану. Це означає те, що усі дані повинні зберігатися окремо, тобто у базах даних. Використовуємо `JDBC` драйвер для надання доступу до бази даних користувача фреймворку. Для того, щоб полегшити розробку веб-сервіса на створеному фреймворку додаємо ще один рівень абстракції для генерації `SQL` коду. Для цього буде використана бібліотека мови програму-

вання Scala – Slick. Особливістю цієї бібліотеки є те, що вона призводить конвертацію Scala коду у SQL під час компіляції проекту. Завдяки цьому результат роботи завжди перевіряється статичним аналізатором мови Scala, а функціонал бібліотеки не впливає на швидкість виконання коду як у випадку з аналогами на мові Java. Зі сторони фреймворку ми повинні надати користувачу спосіб використовувати вже сконфігуровану бібліотеку Slick у своєму коді. Для цього створюємо трейт `DatabaseConfig`, який буде доданий до кожного класу користувача, де буде виконуватись робота з базою даних.

Створення моделі даних. Основою RESTful веб-сервісу є модель даних з якими він буде працювати. Для цього створюємо команду, що буде збирати дані користувача про необхідні моделі та генерувати клас з необхідними даними для зберігання цієї моделі у базі даних. Для того, щоб задіяти бібліотеку Slick, підключимо вже створений трейт `DatabaseConfig` до створеного трейту `UserTable` в якому імпортуємо синтаксис бібліотеки за допомогою команди `import driver.api._`. Для створення мапінгу між даними та таблицею в базі даних створюємо клас, який буде наслідуватися від класу `Table`. В середині цього класу описуємо поля за допомогою функції `column[Type](fieldname, flags)`. Після цього створюємо аплікативну функцію яка міститиме у собі інформацію про співвідношення полів класу до полів у базі даних. При створенні аплікативної функції надаємо бібліотеці набір полів у базі даних та функції конвертації класу у набір даних та набору даних у клас. Ці функції вже надані нам мовою програмування Scala. Після цього створюємо набір базових дій з базою даних за допомогою макросу `TableQuery[Type]`. Цей макрос отримує дані мапінгу моделі до бази даних та генерує базові операції над таблицею.

Створення базових дій REST сервісу та створення REST роутингу для роботи з сервісом. Маючи модель для зберігання даних та базові дії над базою даних ми можемо згенерувати сервіс який буде надавати базові дії для REST сервісу. Для цього згенеруємо трейт який унаслідуеться від трейту з описом мапінгу між базою даних та моделлю, та реалізуємо операції які будуть: виводити усі записи, виводити окремий запис на основі його ідентифікаційного коду, додавати запис, оновлювати та видаляти записи. Для імплементації цих дій будемо використовувати бібліотеку Slick. За допомогою вже створених макросом базових дій з базою даних, описуємо необхідні дії та виконуємо їх за

допомогою функції `db.run`. Створивши усі необхідні дії для роботи з моделлю даних зв'язуємо їх з зовнішніми посиланнями на сервіс. Для цього розробляємо клас роутингу, який опише REST протокол для моделі. В якості умов, в синтаксисі бібліотеки `akka-http` виступають директиви. Використовуємо наступні директиви: `get`, `post`, `pathPrefix`, `pathEndOrSingleSlash`, `delete`, `put`. `PathPrefix` використовуються для перевірки існування деякої частини шляху у зовнішньому посиланні та для зчитування частини шляху у код роутингу. `PathEndOrSingleSlash` перевіряє чи вже настав кінець посилання. `Get`, `post`, `put`, `delete` перевіряють чи запит відноситься до одного з цих типів. Важливою частиною роботи роутингу є опис процесу серіалізації та десеріалізації даних. Оскільки для обміну з клієнтом ми використовуємо формат JSON, то нам необхідно знайти спосіб створення внутрішніх об'єктів на основі запиту користувача. Для цього використовується бібліотека `spray-json`. На основі макросу `jsonFormatN(Type)` вона генерує функції для серіалізації та десеріалізації об'єктів.

Надалі ми додаємо підтримку цієї бібліотеки до нашого роутингу і отримуємо можливість використовувати команди `toJson` та `as[Type]` для конвертації даних. Після цього користувачу фреймворку залишається додати створений роутинг до глобального мапінгу.

Створення шаблонів та команд для генерації компонентів. Маючи усі необхідні компоненти системи, розробимо шаблони для генерації. Вони будуть виконані у вигляді об'єктів з функцією `code(params)`. В якості параметрів будуть передаватися необхідні дані для генерації того чи іншого компоненту. Виділив залежні частини зі створених компонентів ми можемо перетворити їх на змінні, що будуть заповнені в залежності від зовнішніх параметрів. Створивши усі необхідні шаблони переходимо до написання команд для `sbt` (рис.2). Для читання з командної строки використовується стандартна функція `readLine`. Для запису у консоль використовується функція `println`. Використовуючи менеджер ресурсів записуємо згенерований шаблон у файл класу. Для того, щоб зареєструвати команду використовується функція з пакету `sbt - taskKey`.

```

package me.archdev.commands

import me.archdev.ResourceManagement
import me.archdev.templates.ModelTemplate
import sbt.Keys._
import sbt._

trait CreateModelCommand extends ResourceManagement {

  private lazy val createModel = taskKey[Unit]("Creates model for storage.")

  private def readValues: Seq[(String, String)] = {
    (readLine("Whats the name of parameter?\n> "), readLine("And whats the type?\n> ")) match {
      case ("", _) => Nil
      case params => Seq(params)
    }
  }

  private def readUntil(acc: Seq[(String, String)] = Nil): Seq[(String, String)] = {
    readValues match {
      case Nil => acc
      case x => readUntil(acc ++ x)
    }
  }

  lazy val createModelTaskImpl = createModel := {

    val basePath = "src/main/scala/" + organization.value.replace(".", "/")

    println("Creating a models package...")
    createDirs(basePath + "/models")

    val modelName = readLine("Whats the name of your model?\n> ")
    val values: Seq[(String, String)] = readUntil()

    println("Creating a model case class...")
    val modelPath = basePath + "/models/" + modelName + ".scala"
    createFile(modelPath)
    writeFile(modelPath, ModelTemplate.code(organization.value + ".models", modelName, values))
  }
}

```

Рисунок 2 – Приклад команди для генерації моделі

Висновки. В результаті проведених досліджень було запропоновано фреймворк для створення RESTful веб-сервісів, який дозволяє створювати нові веб-сервіси завдяки набору вбудованих компонентів. Кожен компонент є незалежною частиною та легко комбінується з іншими частинами. Також, для оптимізації роботи розроблено генератор коду, що дозволяє створювати контролери для доступу до моделей даних. Функціонал розробленого фреймворку дозволяє створювати комплексні веб-додатки, поділені на безліч сервісів. При цьому кожен з них створюється на основі готових компонентів.

ЛІТЕРАТУРА

1. Richardson L. RESTful Web Services. [Text] / L. Richardson - O'Reilly Media. - 2007 - 454 p.
2. Bessis N. Development of Distributed Systems from Design to Application and Maintenance [Text]/N.Bessis.- 2012 - 367p.
3. Newman S. Building Microservices [Text] / S. Newman - O'Reilly Media. - 2015 - 280 p.
4. Odersky M. Programming in Scala: A Comprehensive Step-by-Step Guide [Text]/M. Odersky.- 2011 – 883p.
5. The interactive build tool [Ел.ресурс]/Реж.доступу: <http://www.scala-sbt.org>.

Д.В. Спірінцев, А.В. Найдиш

МЕТОДИ ГЕОМЕТРИЧНОГО МОДЕЛЮВАННЯ ТА ВІЗУАЛІЗАЦІЇ ЦИФРОВОЇ МОДЕЛІ РЕЛЬЄФУ

Анотація. Виконано огляд основних напрямків, в яких ведуться роботи по оптимізації розв'язання задач моделювання та візуалізації складних тривимірних об'єктів цифрової моделі рельєфу.

Ключові слова: цифрова модель рельєфу (ЦМР), геометричне моделювання, візуалізація, ГІС-аналіз, ВДГМ, БН-числення.

Постановка проблеми. На відміну від цифрових уявлень точкових, лінійних і двовимірних об'єктів, тривимірні об'єкти вимагають особливих форм уявлення. Одним з поширених типів тривимірних об'єктів є топографічний рельєф земної поверхні. За допомогою тривимірних об'єктів можуть бути також змодельовані карти щільності населення, атмосферного тиску, вологості і т.ін. Тривимірні моделі такого типу традиційно пов'язують з цифровими моделями рельєфу. ЦМР дозволяють за кінцевим набором вибірковок точок визначати піднесення, крутизну схилу, напрямок скату в довільній точці на місцевості. Можливо виявлення особливостей місцевості - басейнів річок, дренажних мереж, піків, западин і т.ін. Такі моделі широко застосовуються в багатьох процедурах ГІС-аналізу: при виборі місця будівництва будівель та комунікацій, в аналізі дренажних мереж, в аналізі видимості, при виборі маршруту руху по пересіченій місцевості. Особливо широко цифрові моделі рельєфу застосовуються в гідрології. Одним з основних етапів побудови ЦМР є візуалізація проміжних і кінцевих результатів моделювання. Не дивлячись на те, що ця проблема вивчається досить давно, останнім часом їй приділяється досить багато уваги. Це обумовлено тим, що проблема високої швидкості обробки графічної інформації є завжди актуальною. У зв'язку з різко збільшеними можливостями обчислювальної техніки складається тенденція до побудови все більш адекватних і складних геологогеофізичних моделей. Звідси впливає актуальність проблеми моделювання та візуалізації тривимірних об'єктів ЦМР.

Аналіз публікацій по темі дослідження. До класичних способів візуалізації двовимірних полів параметрів (поверхонь) можна віднести [1]: карти, карти в ізолініях і тривимірні поверхні. Сучасні алгоритми побудови ліній рівня вирішують ряд проблем: підвищення швидкості відображення [2-4], боротьба з шумами і згладжування ізоліній [3, 4], облік обмежень, що накладаються [5, 6]. При відображенні карти у вигляді тривимірної поверхні ситуація набагато складніше, ніж при відображенні ізоліній. Основною проблемою тут є швидкість візуалізації. Відображення високо детальної моделі (наприклад, побудованої на рівномірній сітці з кількістю вузлів порядку 10 000 000) прямими методами виявляється скрутним [1]. Це обумовлено декількома причинами: нестача пам'яті комп'ютера, низька швидкість відображення великого обсягу інформації, використання нерациональних алгоритмів. Якщо перші дві причини вирішуються завдяки нарощуванню потужності обчислювальної техніки, то третя причина вимагає розробки відповідних алгоритмів і методів моделювання, що свідчить про актуальність даної проблеми.

Формулювання цілей статті. Метою дослідження є розгляд основних напрямків з оптимізації розв'язання задачі візуалізації складних геофізичних об'єктів та основних напрямів геометричного моделювання для побудови ЦМР.

Основна частина. Виділимо основні напрямками, в яких ведуться роботи по оптимізації рішення задач візуалізації складних об'єктів:

- *багатомасштабне подання інформації* [2,7,8]. Поверхня, задана з високою роздільною здатністю, розкладається на версію з низьким розширенням і набір уточнюючих коефіцієнтів. Даний підхід дозволяє швидко переходити від грубого представлення поверхні до більш детального поданням. Таким чином прискорення виходить за рахунок скорочення обсягу інформації, що відображається (відсікання несуттєвих деталей).

- *Побудова адаптованих сіток* [2,7]. Будуються сітка, отримана в результаті аналізу характерної структури досліджуваного об'єкта. Така сітка повинна з одного боку містити якомога менше вершин, з іншого - забезпечувати найбільш повне уявлення поверхні. Зменшення кількості вузлів дозволяє прискорити процес візуалізації поверхні - відтворення її зображення, обертання і т.ін.

– *Застосування високопродуктивних алгоритмів.* Використання високоефективних алгоритмів є основою для побудови високопродуктивних програм візуалізації великих обсягів інформації за умови оптимального використання технічного та програмного забезпечення.

Континуальний характер природних оболонок географічного середовища має на увазі безперервний розподіл, в тому числі, параметрів підстилаючої поверхні, що при сучасних особливостях отримання інформації у вигляді дискретних спостережень в точках, приводить нас до необхідності використовувати методи просторової інтерполяції для заповнення досліджуваного об'єкта необхідними даними. Незважаючи на десятки робіт, немає однозначної думки щодо кращого інтерполяційного методу. Від якості обробки вихідного числового матеріалу істотно залежить довіра до отримуваних висновків. Тому, розглянемо основні методи 3D інтерполяції, що застосовуються в геоінформаційних системах (ГІС).

Метод найближчої точки [9,10]. Даний метод є найпростішим інтерполяційним методом, що дозволяє інтерполювати будь-які типи даних для будь-яких типів решіток шляхом присвоєння атрибутів найближчої точки поточного вузла решітки GRID або сітки MESH. Основним і головним недоліком цього методу є його точність.

Білінійна інтерполяція [11,12]. Білінійна інтерполяція є розширенням лінійної інтерполяції для функції двох змінних. В якості вхідних даних приймаються 4 координати, проекції яких на площину xOy знаходяться в вершинах деякого прямокутника. Також, даний метод можна застосувати до будь-якої регулярної сітки, послідовно застосувавши його до кожної «комірки». Переваги даного методу - простота і велика швидкість обчислення, при розпаралелюванні на GPU. Однак, реальні дані часто представлені у вигляді нерегулярної сітки, в якій частота вузлів не є постійною, і може сильно змінюватися від однієї області до іншої.

Метод обернено зважених відстаней (ОЗВ) [9,10,12]. В даному методі обчислюються вагові коефіцієнти, необхідні для побудови інтерполяційної функції. При цьому вага, присвоєна окремій точці даних при обчисленні вузла сітки, пропорційна степені зворотної відстані від вихідної точки до розрахункового вузла сітки. При обчисленні інтерполяційної функції в будь-якому вузлі сітки сума

всіх призначених ваг дорівнює одиниці. Якщо точка спостереження збігається з вузлом сітки, то даний метод працює як точний інтерполятор. Вагова функція залежить від відстані і радіально симетрична щодо кожної розсіяної точки. Недоліки методу - генерація структур типу "биче око" навколо точок спостережень з екстремумними значеннями функції [10], крім того довго працює при великій кількості вихідних даних [12].

Метод мінімальної кривини (метод сплайну) [10]. Використовується метод інтерполяції, який оцінює значення за допомогою математичних функцій, які мінімізують загальну кривину поверхні, що призводить до згладженої поверхні, яка проходить через вхідні точки. Метод мінімальної кривизни, однак, не є точним методом. Він генерує найбільш гладку поверхню, яка проходить настільки близько до експериментальних точок, наскільки це можливо, але ці експериментальні точки не обов'язково належать інтерполяційній поверхні [13].

Метод Кріге (крігінг) [10]. Даний метод є одним з найпоширеніших. При крігінгу передбачається, що відстань або напрямок між опорними точками відображає просторову кореляцію, яка може використовуватися для пояснення зміни на поверхні [14]. Крігінг використовує математичну функцію для певної кількості точок або всіх точок в межах заданого радіусу, щоб визначити вихідне значення для всіх напрямків. Крігінг аналогічний ОЗВ, проте, тут вага залежить від встановленої моделі для вимірюваних точок, від відстані до місця розташування прогнозу і від просторових відносин між вимірюваними значеннями навколо місця розташування прогнозу. Варіації методу Кріге визначаються, головним чином, трьома складовими - моделлю варіограми (призначена для знаходження локальної околиці точки і визначення ваг спостережених точок, використовуваних при інтерполяції функції у вузлі мережі), типом тренда (визначає тенденцію в характерній просторовій зміні даних) і «ефектом самородку» (дозволяє врахувати похибку визначення параметрів у вузлових точках).

Метод радіальних базисних функцій (РБФ) [10,15]. Даний метод є методом жорсткої інтерполяції, тобто інтерполяційна поверхня повинна проходити через кожне виміряне опорне значення. На противагу методу ОЗВ, РБФ можуть інтерполювати значення вище мак-

симального або нижче мінімального виміряного значення. Радіальні базисні функції аналогічні варіограммам, використовуваним в методі Кріге. Ці функції визначають оптимальну мережу ваг, за допомогою яких зважуються значення функції в точках спостережень при побудові інтерполяційної функції.

Метод Шепарда [10,16]. Даний метод подібний до методу ОЗВ. Він також використовує зворотні відстані при обчисленні вагових коефіцієнтів, за допомогою яких зважуються значення експериментальних Z-значень в точках спостережень. Відмінність полягає в тому, що при побудові інтерполяційної функції в локальних областях використовується метод найменших квадратів. Це зменшує ймовірність появи на згенерованій поверхні структур типу "биче око".

Метод тріангуляції з лінійною інтерполяцією [10]. В даному методі вихідні точки даних з'єднуються таким чином, що результуюча поверхня покривається поверхнею з граней трикутників, формування яких відбувається за допомогою методу тріангуляції Делоне. При цьому жодна зі сторін трикутника не перетинається зі сторонами інших трикутників. Значення функції в вузлах регулярної сітки, що потрапляють всередину цього трикутника, належать площині, що проходить через вершини трикутника. Оболонка тріангуляційної поверхні формується одним або кількома полігонами. Усередині або на ребрі полігонів оболонки можна інтерполювати Z-значення поверхні, виконувати аналіз і генерувати відображення поверхні.

Метод природної околиці (природних сусідів) [9,10]. Даний метод інтерполяції був введений в роботі [17], а детально описаний в роботі [18]. Як і ОЗВ, даний метод заснований на зваженому усередненню значень. Однак, замість обчислення значення на підставі значень всіх точок, зворотньо зважених по відстані до них, тут за вхідними точкам будується тріангуляція Делоне, вибираються найближчі вузли, які формують опуклу оболонку навколо інтерпольованої точки, а потім їх значенням присвоюється вага, пропорційна площі. Метод ПО також не може екстраполювати данні за межі опуклої оболонки полігонів Делоне. Найголовніший плюс даного методу - відсутність потреби обробляти всі відомі точки, а тільки ті, які є найближчими до деяких растрів, при поточному рівні деталізації [12], крім того, даний метод може ефективно працювати з

великими наборами вхідних даних.

Методи точкового числення *Балюби-Найдиша* (БН-числення) [19]. Один з прикладів є спосіб «Лупа». Розроблені алгоритми дозволяють позбутися від шумових складових цифрової моделі земельної поверхні (під шумовими складовими маються на увазі точки, які не належать до рельєфу місцевості - рослинність і архітектурні споруди). Серед переваг БН-числення можна зазначити: можливість попереднього завдання необхідної точності даних що моделюються; в основі апроксимації можуть лежати криві високого порядку гладкості; виконується формалізація моделюємої ділянки земної поверхні; відсутні операції проектування на площині поверхні (розрахунки виконуються одночасно для всіх координат точок поверхні, що, в свою чергу, дозволяє значно підвищити швидкість розрахунків); розрахунок може виконуватися як для регулярних, так і нерегулярних сегментів земельної поверхні. Для більшої наочності можна провести тріангуляцію отриманої точкової моделі.

Методи *варіативного дискретного геометричного моделювання* (ВДГМ) [20]. У цьому напрямку поверхня може розглядатись або як однопараметрична множина кривих ліній, або як двопараметрична точкова множина. Відповідно до кожного з цих напрямків розроблені відповідні алгоритмічні та програмні реалізації [20]. У результаті застосування даних алгоритмів формується нова дискретна множина точок і значень похідних у них. При цьому відбувається як завгодно щільне згущення точкового масиву, як локальне так і глобальне, після чого на множині отриманих точок будується багатогранна поверхня, що представляє шукану поверхню в наступному розв'язанні прикладної задачі. Крім того методи ВДГМ можуть задовольняти декільком умовам моделювання одночасно.

Висновки. Отже, основним напрямком оптимізації розв'язання задач візуалізації складних об'єктів, є використання високоефективних, економічних і простих у реалізації алгоритмів для побудови багатомасштабного подання інформації і побудови адаптивних сіток, що є основою для побудови високопродуктивних програм візуалізації великого обсягу інформації.

З метою зменшення кількості вхідних даних (усунення їх надлишковості) необхідно виконати процедуру попередньої підготовки даних. Тобто виключити з вихідних даних аномалії і шу-

ми, використовуючи для цього спеціальні алгоритми, наприклад, спосіб «луна» [19].

З наведеного огляду найбільш перспективними можна вважати методи крігінгу, природної околиці, методи ВДГМ та методи БН-числення. Однак, при більш детальному розгляді даних методів їм також притаманні деякі недоліки. Тому подальші наші дослідження будуть спрямовані на вдосконалення існуючих та розробку нових методів просторової інтерполяції тривимірних об'єктів.

ЛИТЕРАТУРА

1. Дмитриевский М. В. Оптимизация некоторых алгоритмов восстановления полей геологических и геофизических параметров: дис....канд. физ.-мат. наук : 05.13.18 / Дмитриевский Михаил Владимирович – Тюменский гос. ун-т, 2003. – 145 с.
2. Переберин А.В. Многомасштабные методы синтеза и анализа изображений : дис. ... канд. физ.-мат. наук : 05.13.11 / Переберин Антон Валерьевич – Ин-т прикладной математики им. М.В. Келдыша. Москва, 2002. – 138 с.
3. Переберин А.Б. Построение изолиний с автоматическим масштабированием / А.Б. Переберин // Вычислительные методы и программирование. – 2001. Т.2. – С. 22-32.
4. Кутрунов В. Н. Каскадные алгоритмы обработки геофизической информации / В. Н. Кутрунов, В. Н. Пьянков, М. В. Дмитриевский// Вестник Тюменского университета. – Тюмень: ТГУ, 2001. – №2. – С. 190–197.
5. Костюк Ю. Л. Эффективные алгоритмы обработки и отображения графических данных и их реализация в программных комплексах: дис. ... доктора тех. наук : 05.13.18 / Костюк Юрий Леонидович - Томск, 2002. – 264с.
6. Фукс А. В. Разработка и исследование алгоритмов интерполяции однозначных поверхностей и их использование при построении цифровых моделей рельефа : дис.... канд. тех. наук : 05.13.18 / Фукс Александр Львович – Томский гос. ун-т, 2001. – 173 с.
7. Столниц Э. Вейвлеты в компьютерной графике. Теория и приложения / Э. Столниц, Т. ДеРоуз, Д. Салезин – Ижевск: Изд-во R&C Dynamics., 2002. – 272 с.
8. Шитов А. Б. Разработка численных методов и программ, связанных с применением вейвлет-анализа для моделирования и обработки экспериментальных данных : дис. ... канд. физ.-мат. наук : 05.13.18 / Шитов Андрей Борисович – Иваново, 2001. – 125с.
9. Петин А.Н. Геоинформатика а рациональном недропользовании / А.Н. Петин, П.В. Васильев – Белгород: Изд-во БелГу, 2011. – 268 с.
10. Айзель Г.В. Расчеты речного стока на основе модели SWAP для водосборов с недостаточным информационным обеспечением : дис. ... канд. техн. наук :

- 25.00.27 / Айзель Георгий Владимирович – Институт водных проблем РАН. Москва, 2014. – 156 с.
11. Красильников Н.Н. Цифровая обработка 2D- и 3D-изображений: учеб. пособие. - СПб.: БХВ-Петербург, 2011. – 608с.
12. Шусанов А.В. Исследование методов интерполяции поверхностей для задачи создания карты глубин водоемов/ А.В. Шустанов, П.Ю. Якимов// Журнал «Информационные технологии и нанотехнологии», 2016, С.971-976.
13. Franke R. Smooth interpolation of scattered data by local thin plate splines / R. Franke // Computer and Mathematics with Applications. – 1982. № 8. – С. 273–281.
14. Oliver M.A. Kriging: a method of interpolation for geographical information systems / M.A. Oliver // International Journal of Geographic Information Systems. – 1990. № 4. – С. 313–332.
15. Hardy R.L. Theory and applications of the multiquadric-biharmonic method / R.L. Hardy // Computers & Mathematics with applications. – 1990. Т. 19, № 8/9. – С. 163-208.
16. Franke R. Smooth interpolation of large sets of scattered data / R. Franke, G. Nielson // International Journal for Numerical Methods in Engineering. – 1980. № 15. – С. 1691-1704.
17. Sibson R. A brief description of natural neighbour interpolation / R. Sibson // Interpreting Multivariate Data. – Wiley, 1981. – С. 21-36.
18. Watson, D. Contouring: A Guide to the Analysis and Display of Spatial Data. London: Pergamon Press, 1992.–321p.
19. Кучеренко В. В. Формалізовані геометричні моделі нерегулярної поверхні для гіперкілікської дискретної скінченної множини точок: дис... канд. техн. наук : 05.01.01 / В. В. Кучеренко . – Мелітополь: ТДАТУ, 2013. – 208 с.
20. Найдиш В.М. Основи прикладної дискретної геометрії [навчальний посібник для студентів вищих навчальних закладів III-IV рівнів акредитації] / В.М. Найдиш, В.М. Верещага, А.В. Найдиш, В.М. Малкіна. – Мелітополь: ТДАТУ, 2007. – 194с.

FACTOR ANALYSIS FOR MULTISPECTRAL RASTER IMAGES PROCESSING

Abstract. The alternative methodic of landscape data level optimization which are enough for its interpretation is studied in the paper. The landscape data level compression is executed by general factors based process description part.

Keywords: multispectral image, factor analysis, data level minimizing.

Problem. To increase the landscape data information value those data notably images are being recorded in a number of spectral radiation ranges. Fixed by the modern remote sensing optical complexes such images in the aggregate compose the united geometric object which is the multispectral image. The minimizing of the initial landscape data level notably the number of the fixing spectral ranges is one of the basic factors that defines the utilization efficiency of those data in the automated processing systems including the geoinformation technologies.

Analysis of researches. According to the numerous studies [1, 2] to detect the most data-intensive components of the multispectral image the image intensity spatial distribution de-correlation is required, while the component images of the multispectral one are fixed in the different spectral ranges. There are information value definition methods applied for digital image intensity distributions fixed in separate spectral ranges. Such methods have an integral character thus the information contribution definition of separate raster represented cells of initial landscape data to image information value in whole becomes impossible [3, 4]. One of the basic tasks of the factor analysis methods is the data level compression by general factors based process description part. The quantity of the factors is less than the quantity of primarily kept features or parameters which are ensure the accurate feature correlation matrix restoration [5].

The aim of the work is to study the factor analysis methods concerning multispectral raster images processing in order to optimize the

fixing spectral ranges quantity of initial landscape data according to the information entropy maximum criterion.

Major part. The correlation matrix built with Pearson ratio correlation coefficient $R = \frac{1}{n-1}ZZ'$, where Z - standardized input data matrix, n - vector length, ' - transposition symbol, is the basic factor analysis method research object.

The Aster initial (immediate) multispectral image, fixed in nine electromagnetic spectral ranges, as the testing one was taken and for the convenience placed together with research results as shown in figure 7.

The image intensity spatial distribution numerical matrixes of the initial multispectral image bands are used as the factor analysis variables. There are *Var2* - the 1st band (0.52 мкм - 0.60 мкм), *Var3* - the 2^d band (0.63 мкм - 0.69 мкм), *Var4* - the 3^d band (0.78 мкм - 0.86 мкм), *Var5* - the 4th band (1.60 мкм - 1.70 мкм), *Var6* - the 5th band (2.145 мкм - 2.185 мкм), *Var7* - the 6th band (2.185 мкм - 2.225 мкм), *Var8* - the 7th band (2.235 мкм - 2.285 мкм), *Var9* - the 8th band (2.295 мкм - 2.365 мкм), *Var10* - the 9th band (2.360 мкм - 2.430 мкм) in ascending order of emission wavelength. The correlation matrix calculated for the variables complex is put in figure 1.

Переменная	Var2	Var3	Var4	Var5	Var6	Var7	Var8	Var9	Var10
Var2	1,00	0,90	0,49	0,47	-0,04	-0,02	-0,03	-0,07	-0,05
Var3	0,90	1,00	0,19	0,67	0,25	0,27	0,25	0,22	0,23
Var4	0,49	0,19	1,00	-0,32	-0,78	-0,77	-0,78	-0,80	-0,79
Var5	0,47	0,67	-0,32	1,00	0,78	0,79	0,79	0,76	0,77
Var6	-0,04	0,25	-0,78	0,78	1,00	0,99	0,99	0,98	0,98
Var7	-0,02	0,27	-0,77	0,79	0,99	1,00	0,99	0,99	0,98
Var8	-0,03	0,25	-0,78	0,79	0,99	0,99	1,00	0,99	0,99
Var9	-0,07	0,22	-0,80	0,76	0,98	0,99	0,99	1,00	0,99
Var10	-0,05	0,23	-0,79	0,77	0,98	0,98	0,99	0,99	1,00

Figure 1 - Correlation matrix

To choose the definite considerable factors the eigenvalues for every variable (for every image of multispectral one) were calculated. The eigenvalue - its number diagram was built (Figure 2).

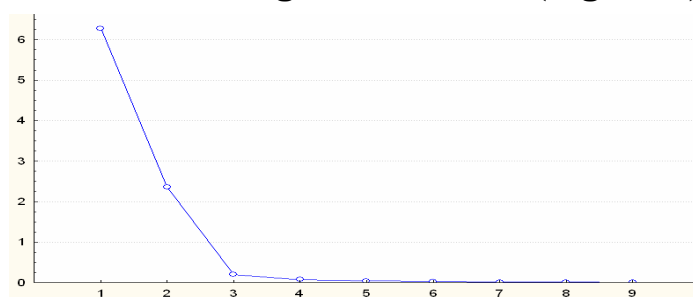


Figure 2 - The eigenvalues diagram

As we can see from the eigenvalues diagram the first factor eigenvalue is amount to 6,28, the second one is amount to 2,36, the rest are less than 1. According to Kaiser criterion the two factors should be chosen, and according to Cattell scree test one should choose two or three of the factors [6], so the both of solutions are studied.

The correlations among factors and variables named the factor loadings are the most important information concerning the factor interpretation. The factor loadings calculating for all nine factors showed that the two first factors have the greatest loadings (Figure 3).

Перемен.	Фактор 1	Фактор 2	Фактор 3	Фактор 4	Фактор 5	Фактор 6	Фактор 7	Фактор 8	Фактор 9
Var2	-0,012341	0,982565	-0,087690	0,102697	-0,126030	0,016712	0,003778	0,000632	0,000266
Var3	-0,306626	0,920433	-0,201567	-0,055276	0,121412	-0,018059	-0,005541	-0,000299	-0,000820
Var4	0,774200	0,534898	0,313495	0,104283	0,071398	-0,015152	-0,003904	-0,000407	-0,001667
Var5	-0,816821	0,496841	0,222674	-0,184246	-0,048620	0,005966	0,004396	0,001005	-0,001613
Var6	-0,991564	-0,050821	0,022961	0,056513	0,037662	0,064103	0,054571	-0,019905	-0,039948
Var7	-0,991774	-0,032066	0,035836	0,049738	0,032336	0,080208	-0,027188	0,045690	0,035962
Var8	-0,993578	-0,046221	0,028586	0,045855	0,003716	-0,022980	-0,012967	-0,076858	0,033612
Var9	-0,990682	-0,088811	0,019433	0,045691	-0,010221	-0,039340	-0,067760	0,009564	-0,043156
Var10	-0,989493	-0,070708	0,017936	0,051262	-0,003701	-0,093560	0,048414	0,040688	0,013722
Общ. дис.	6,275309	2,364232	0,199510	0,070909	0,040682	0,022242	0,010900	0,010140	0,006076
Доля общ.	0,697257	0,262692	0,022168	0,007879	0,004520	0,002471	0,001211	0,001127	0,000675

Figure 3 - Factor loadings

To obtain the easiest for interpreting factor structure the factors were rotated using the "varimax" rotating method. The quantity of the factors reserved for rotation is amount to two and three.

The *Factor 1* has the largest loadings for variables *Var4 - Var10*, and the *Factor 2* has the largest loadings for variables *Var2* and *Var3*. The data obtained indicate the *Factor 1* and *Factor 2* factor importance. The decision diagram based on two chosen factors rotating is given in Figure 4.

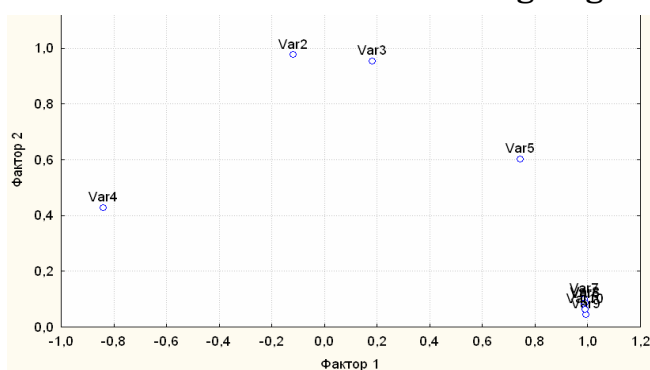


Figure 4 - The decision diagram

The scatter chart of the two factors (Figure 4) shows the two loadings for every variable. The variables *Var2 - Var5* are scattered on the diagram field one relative to another and other grouped variables. This means the presence of spectral distance between the image spectral

bands which correspond to the variables. The variables *Var6* - *Var10* are concentrated that means the absence of useful information of corresponding image spectral bands one relative to another. Thus as the result of the factor analysis of the input multispectral image the five principal components are picked out (Figure 4).

As far as the greatest quantity of contrast details is concentrated in the images of the principal components picked out, the aggregate of them allow reconstructing the image with minimum information loss.

The initial images are given in figure 5 (a, d, g), the reconstructed images are given in figure 5 (b, e, h), the images of the difference between them are given in figure 5 (c, f, i). The low contrast of the images-differences indicates the little data loss when the only five principal components have been used for input image reconstruction [1].

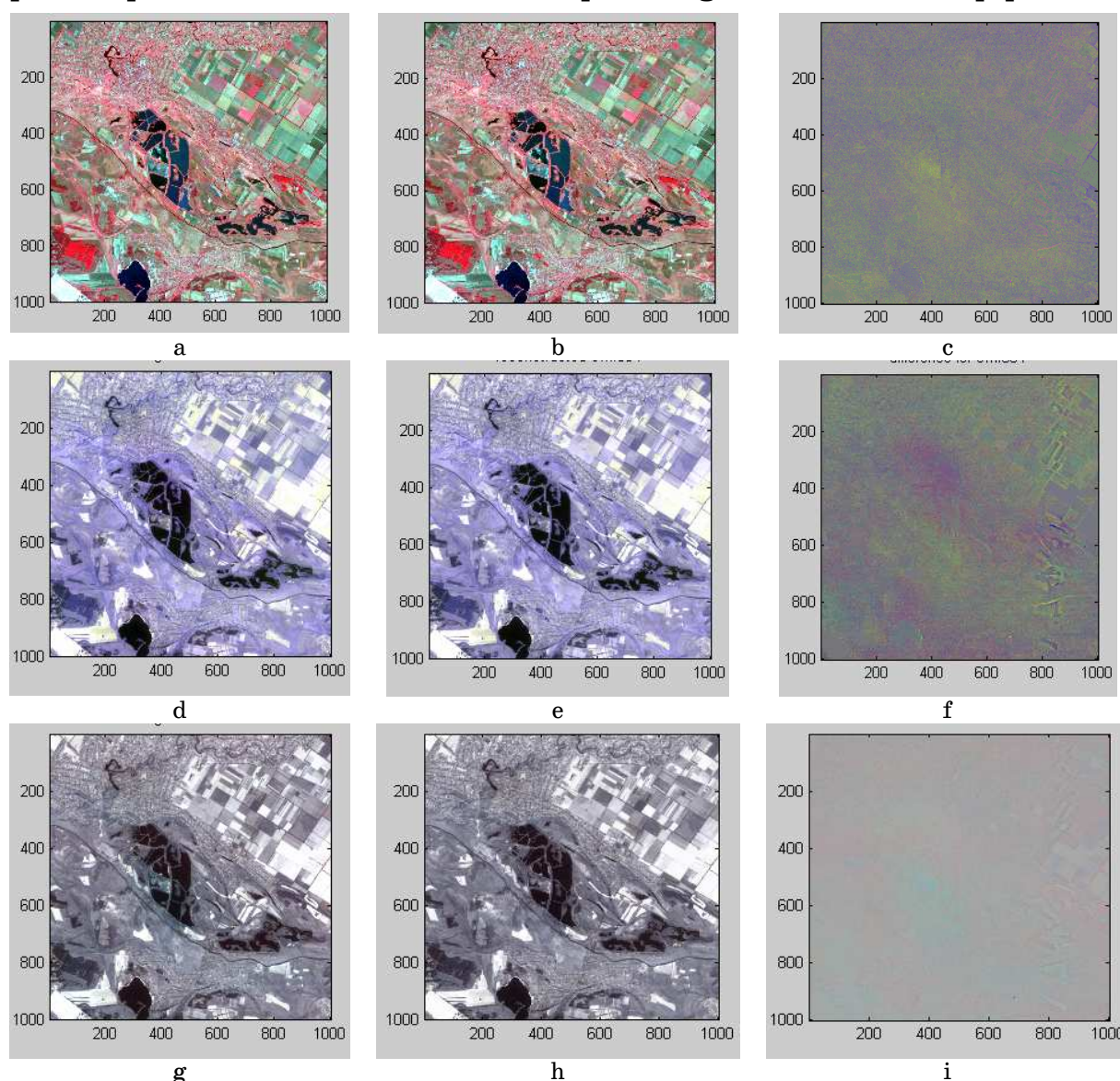


Figure 5 - The research results

The annotation to figure 5: (a) is the initial image of 1 to 3 multispectral bands; (b) is the reconstructed image respective to (a) image; (c) is the difference between (a) and (b) images; (d) is the initial image of 4 to 6 multispectral bands; (e) is the reconstructed image respective to (d) image; (f) is the difference between (d) and (e) images; (g) is the initial image of 7 to 9 multispectral bands; (h) is the reconstructed image respective to (g) image; (i) is the difference between (g) and (h) images.

One of the basic raster image information characteristics is the information entropy [7], the values of which were calculated for every spectral band of initial and reconstructed images. The analysis of the obtained values confirms the considerable reconstructed images information value rising, especially for 1 to 3 bands of the multispectral image.

Conclusions. The alternative methodic of landscape data level optimization which are enough for its interpretation is studied in the paper. Further development with respect to subject matter is connected with present landscape data level optimization methods effectiveness defining and analysis according to the criterion of maximum reconstructed images geometric structure saving during their information value rising.

SOURCES

1. Gonzalez R. C. Digital Image Processing / R. C. Gonzalez, R. E. Woods // N.-J.: Prentice Hall, 2002. - 616 p.
2. Корчинський В. М. Геометричні характеристики інформативності цифрових багатоспектральних зображень / В. М. Корчинський, О. В. Кравець // Геометричне та комп'ютерне моделювання. - Харків, 2010. - Вип. 26. - С. 8 - 13.
3. Wang Z. Image Quality Assessment: From Error Visibility to Structural Similarity / Z. Wang, A. C. Bovik, H. R. Sheikh, E. P. Simoncelli // IEEE Transactions on Image Processing. - 2004. - Vol. 13. - No. 4. - P. 600-612.
4. Корчинський В. М. Геометрична структура багатотонових фотограмметричних зображень / В. М. Корчинський // Наукові нотатки Луцького державного технічного університету. - Луцьк: ЛДТУ, 2008. - Вип. 22. - Част. 2: Сучасні проблеми геометричного моделювання. - С. 411-415.
5. Харман Г. Современный факторный анализ. - М.: Статистика. - 1972. - 486 с.
6. Ким Дж. О. Факторный анализ: статистические методы и практические вопросы // Дж. О. Ким, Ч. У. Мюллер, У. Р. Клекка - М.: Финансы и статистика, 1989. - 215 с.
7. Шеннон К. Работы по теории информации и кибернетике/ К. Шеннон // Пер. с англ. - М.: ИИЛ, 1963.- 830 с.

ДОСЛІДЖЕННЯ НЕЙРОННИХ МЕРЕЖ ДЛЯ ІДЕНТИФІКАЦІЇ СИГНАЛІВ ВИХОРОСТРУМОВОЇ ДЕФЕКТОСКОПІЇ

Анотація. За допомогою комп'ютерного моделювання визначено оптимальний тип, параметри навчання та настройки нейронної мережі для ідентифікації сигналу дефекту у вихорострумовій дефектоскопії композитних матеріалів.

Ключові слова: нейронні мережі, вихорострумова дефектоскопія, композитні матеріали.

Вступ. Основною задачею при пошуках дефектів суцільності композитних матеріалів із використанням вихорострумового методу є ідентифікація сигналу дефекту на фоні дії заважаючих факторів, спричинених особливостями поверхні композитних матеріалів (шум) та специфікою проведення досліджень [1].

Форма класичного модуляційного сигналу, який отримується від вихорострумового перетворювача у випадку, коли його траєкторія сканування перетинає поверхневу тріщину, довжина якої значно менше діаметра вихорострумового перетворювача, зображена на рис.1, а у порівнянні із штучно створеними шумами співрозмірної амплітуди - на рис. 2.

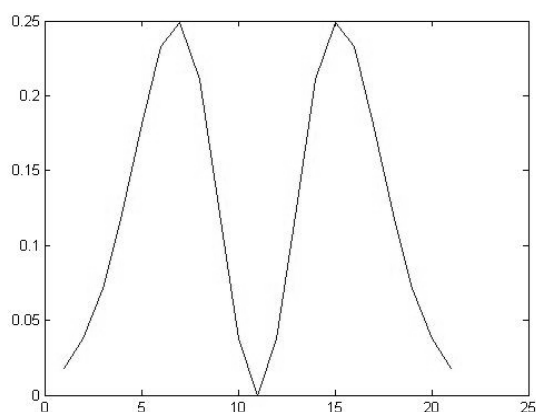


Рисунок 1 - Модуляційний сигнал при проходженні вихорострумового перетворювача над точковим дефектом

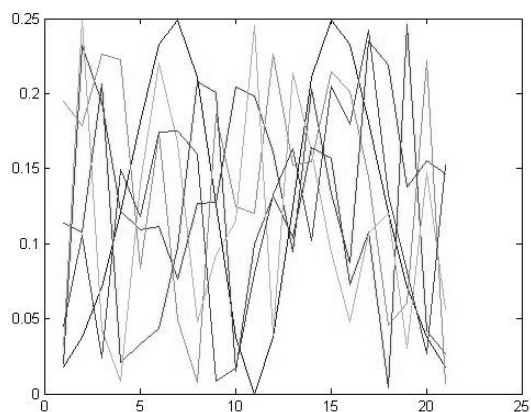


Рисунок 2 - Сигнал дефекту і вибірки шуму співрозмірної амплітуди

Для ідентифікації сигналу дефекту на фоні шуму, обумовленого складним рельєфом поверхні композитного матеріалу з армуючими вуглецевими волокнами, перспективним є дослідження можливостей нейронних мереж (НМ) [2].

Постановка завдання. Метою роботи був аналіз можливості використання НМ для ідентифікації сигналу дефекту, адитивно змішаного з білим гаусовим шумом, а також визначення оптимального типу НМ для проведення таких досліджень.

Основна частина. Для вирішення поставленого завдання було використано комп'ютерний математичний пакет Octave (freeware аналог пакету Matlab). В цьому пакеті була розроблена програма, алгоритм роботи якої представлений на рисунку 4, та яка оперувала із наступними вхідними даними:

- одномірною матрицею (1 стовпець) із 21 строками (рис.3), значення яких відповідають послідовним відлікам сигналу дефекту, показаному на рис.1 (відстань між відліками по осі абсцис дорівнює 0,2 мм по траєкторії сканування);

- заданою кількістю матриць, які містять вибірки шуму різної інтенсивності, що відповідають скануванню бездефектної поверхні композиту;

- багат шаровими нейронними мережами, що містять 2 шари нейронів із кількістю вхідних сигналів 21 (для подання послідовно на кожен вхід одного значення із матриць сигналів), та 1 вихідним сигналом (із значенням «1» - що відповідає наявності дефекту та «0» - його відсутності).

При проведенні дослідження, як перспективні типи НМ з точки зору відповідності задач вихорострумового методу дефектоскопії колу задач використання НМ [3,4,5], були розглянуті наступні багат шарові НМ:

- НМ прямої передачі із зворотнім напрямком поширення помилки;

- динамічна НМ прямої передачі із лініями затримки та зворотнім напрямком поширення помилки;

- рекурентна НМ Хопфілда із динамічним зворотним зв'язком;

- самоорганізуюча НМ із картою Кохонена;

- ймовірнісна НМ;

- радіальна базисна НМ.

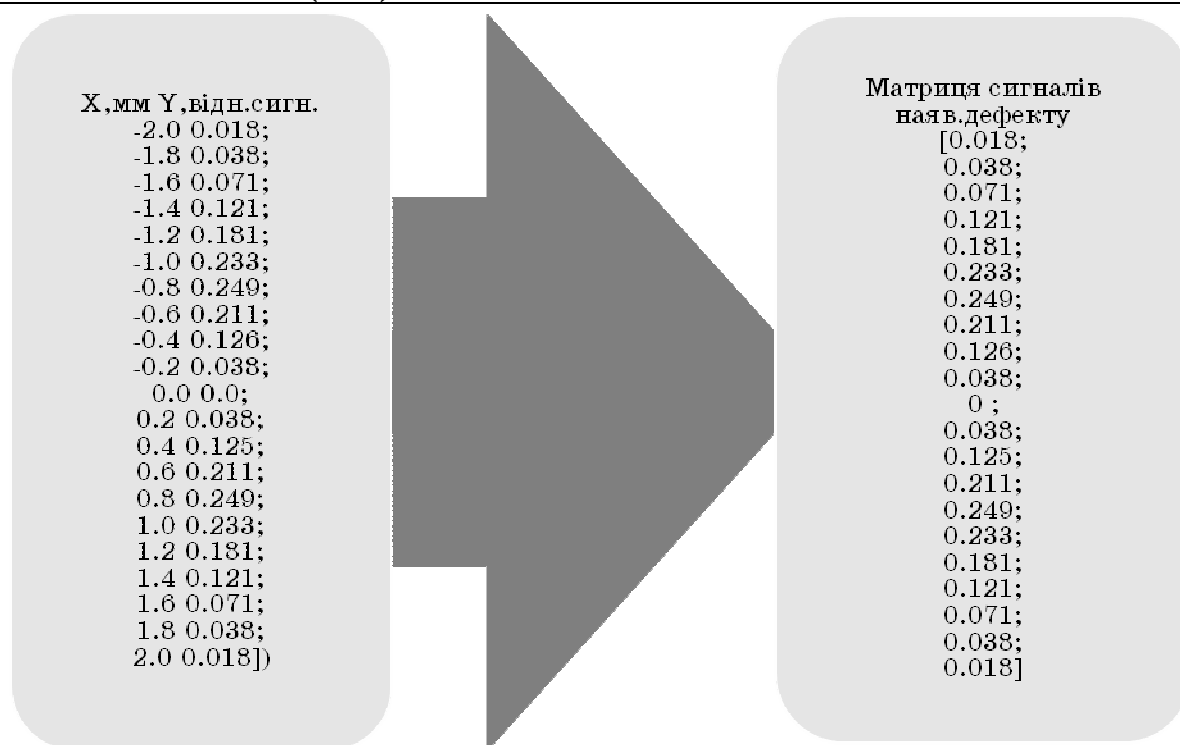


Рисунок 3 - Формування матриці відліків сигналу дефекту

У якості функцій активації НМ , були використані:

- гіперболічна тангенціальна функція;
для лінійних НМ (та на вихідний шар багатошарових мереж):
- лінійна функція активації;
для радіальних базисних НМ:
- гаусова радіальна базисна функція;
для самоорганізуючих НМ:
- конкуруюча функція активації.

Як алгоритми навчання були використані, перспективні щодо вивчення неформалізованих залежностей, наступні алгоритми :

- алгоритм градієнтного спуску із вибором параметра швидкості настрійки;
- квазіньютонівський алгоритм Левенберга - Марквардта;
- квазіньютонівський алгоритм Левенберга - Марквардта, доповнений регуляризациєю по Байесу;
- метод сполученого градієнта зі зворотним поширенням помилки в модифікації Флетчера – Ривса;
- метод сполученого градієнта зі зворотним поширенням помилки в модифікації Полак – Рібейри;

- комбінація методу сполученого градієнта з квазіньютонівим підходом в модифікації Моллера.

Як функції настройки параметрів НМ для обчислення збільшень ваг і зсувів при навчанні були використані відповідні обраним типам НМ наступні функції:

- функція для налаштування параметрів за методом Відроу – Хоффа;
- функція настройки методом градієнтного спуску;
- функція настройки методом градієнтного спуску із збурюванням;
- функція настройки ваг LVQ-мережі за правилом LVQ1;
- функція настройки ваг карти Кохонена.

У якості критерію якості навчання були використані стандартні методи оцінки мінімізації помилок НМ, т. е. різниці між бажаним і реальним сигналами на виході НМ. З метою генерації навчаючих вибірок використовувався білий шум розподілу Гауса із обмеженням амплітуди шуму до рівня максимальної амплітуди сигналу дефекту (надалі - $A_{\text{деф}}$) [6]. Проводилося навчання НМ заданого типу з заданими параметрами з використанням: ідеального сигналу дефекту, ідеального сигналу дефекту з доданим до нього максимальним рівнем шуму, ідеального сигналу із доданням до нього половини максимального рівня шуму і так далі.

Після навчання НМ проводилися наступні дослідження з її використанням:

- генерувалися вибірки шуму з амплітудою, яка послідовно збільшувалась на 1% від 0% до 100% рівня $A_{\text{деф}}$, що додавалися до значень сигналу дефекту;
- згенеровані сигнали щодо наявності та відсутності сигналу дефекту подавалися на входи НМ і перевірялась правильність ідентифікації сигналу дефекту та правильність ідентифікації відсутності дефекту;
- отримані залежності кількості випадків правильної ідентифікації сигналу дефекту та ідентифікації відсутності сигналу дефекту від рівня шуму, доданого до сигналу, використовувалися для визначення оптимальної НМ та її параметрів.

Для автоматизації досліджень була розроблена програма (рис.4), яка створювала НМ, навчала їх та послідовно аналізувала відсоток правильної ідентифікації сигналів при зміні типу та параметрів НМ.

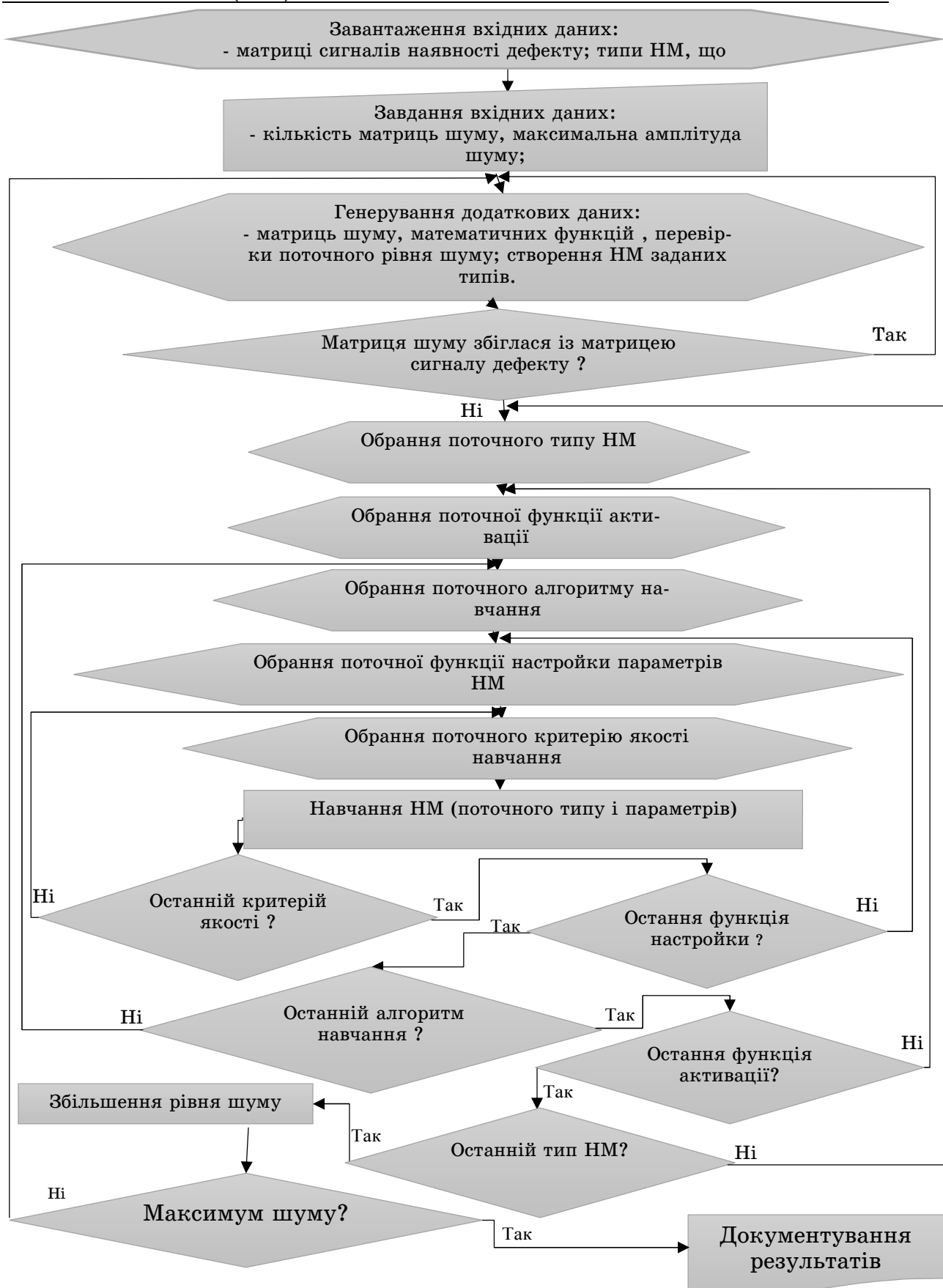


Рисунок 4 - Алгоритм роботи програми

Найбільш придатною для ідентифікації сигналу дефекту виявилась НМ прямої передачі із зворотнім напрямком поширення помилки. Результати її випробування відображені на рис.5 і в табл.1.

На рис. 5 на графіку із додатковим позначенням точок графіку символом «*» наведено дослідження НМ прямої передачі із зворотнім напрямком поширення помилки, гіперболічною тангенціальною функцією активації, квазіньютонівим алгоритмом навчання Левенберга – Марквардта, методом градієнтного спуску із збурюванням та комбінованим критерієм якості навчання (що показала найкращі результати при моделюванні) на фоні графіків НМ з іншими параметрами.

Достовірність ідентифікації сигналу тим вище, чим більше вона відрізняється від порогу у 50% випадків правильної ідентифікації, таким чином із графіку на рис.5 очевидно, що прийнятна достовірність ідентифікації досягається лише при рівні шуму до 30%.

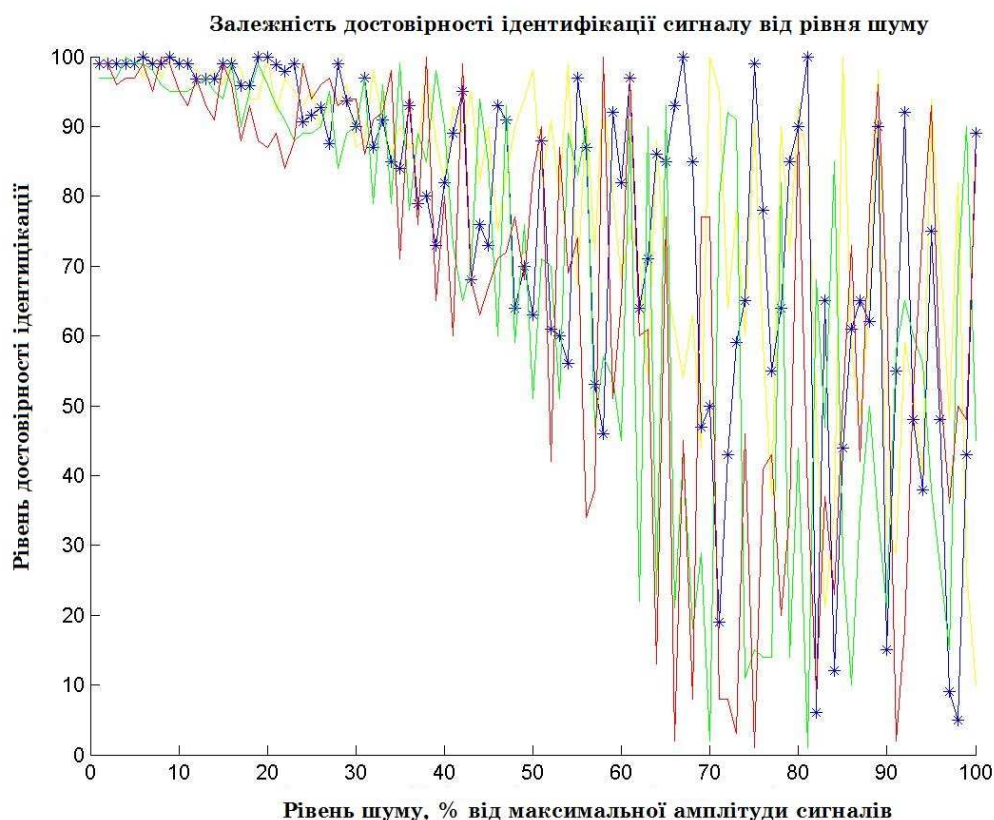


Рисунок 5 - Залежність достовірності ідентифікації сигналу дефекту від рівня шуму

Таблиця 1

Залежність правильності ідентифікації сигналу дефекту НМ прямої передачі із зворотнім напрямком поширення помилки в залежності від використаних параметрів мережі

Т и п НМ	Функ- ція ак- тивації	Алгоритм навчання	Настройки па- раметрів	Критерій якості навчання	% помилок ви- значення при шумі			
					0	10	20	30
НМ прямої передачі із зворотнім напрямком поширення помилки	гіперболічна тангенціальна функція	квазіньютонівий алгоритм Левенберга - Марквардта	метод градієнтного спуску із збурюванням	комбінований критерій якості навчання	0	2	4	13
				середня квадратична помилка	0	3	13	33
		квазіньютонівий алгоритм Левенберга - Марквардта, доповнений регуляризациєю по Байєсу	метод градієнтного спуску	комбінований критерій якості навчання	0	4	12	17
				середня квадратична помилка	0	7	24	27
			метод градієнтного спуску із збурюванням	комбінований критерій якості навчання	0	1	18	16
				середня квадратична помилка	0	1	21	28
	лінійна функція активації	квазіньютонівий алгоритм Левенберга - Марквардта	метод градієнтного спуску	комбінований критерій якості навчання	0	1	14	31
				середня квадратична помилка	0	1	11	28
		квазіньютонівий алгоритм Левенберга - Марквардта	метод градієнтного спуску із збурюванням	комбінований критерій якості навчання	0	12	16	31
				середня квадратична помилка	0	7	12	30
			метод градієнтного спуску	комбінований критерій якості навчання	0	8	21	28
				середня квадратична помилка	0	5	23	31

Висновки. Отримані результати моделювання свідчать про доцільність використання нейронних мереж для ідентифікації модуляційного сигналу поверхневої тріщини, отриманого при скануванні вихорострумовим перетворювачем поверхні виробів з композитних матеріалів на фоні інтенсивного шуму, обумовленого впливом шорсткості поверхні.

За результатами досліджень було визначено оптимальний тип мережі та її параметри. Це мережа прямої передачі із зворотнім напрямком поширення помилки із використанням у якості алгоритму навчання квазіньютонівого алгоритму Левенберга – Марквардта та настройкою параметрів методом градієнтного спуску із збурюванням.

Прийнятна, с практичної точки зору, достовірність ідентифікації дефекту отримується при рівні шуму до 30% від рівня амплітуди сигналу дефекту.

ЛІТЕРАТУРА

1. Хандецкий В.С., Герасимов В.В. Спектральная идентификация сигналов в дефектоскопии композитов с использованием теории статистических испытаний / Вісник ДНУ: Фізика. Радіоелектроніка. -Дніпропетровськ: - 2003. - №10 – С. 128-132.
2. Хандецкий В.С., Антонюк И.Н. Использование искусственных нейронных сетей для идентификации модуляционных импульсов дефектов / Дефектоскопия: РАН: Екатеринбург: - 2001. - №4 – С.49-57.
3. Ф. Уоссермен. Нейрокомпьютерная техника: Теория и практика. Пер.с англ./ Ф. Уоссермен-М.«Мир».1992
4. И. В. Заенцев. Нейронные сети: основные модели. Воронеж. 1999
5. Хайкин Саймон. Нейронные сети: полный курс, 2-е издание: Пер.с англ./ Хайкин Саймон-М.«Вильямс».2006.
6. Герасимов В.В. Спектральна ідентифікація модуляційних імпульсів різних амплітуд в дефектоскопії композитних матеріалів. / Системні технології. Регіональний міжвузівський збірник наукових праць. Дніпропетровськ, 2014. № 1(90) – С.69-74.

Н.И. Твердоступ

АНАЛИЗ F-МЕТРА С УПРАВЛЯЕМОЙ ЧУВСТВИТЕЛЬНОСТЬЮ К ПРИРАЩЕНИЮ РЕАКТАНСА ИНДУКТИВНОГО ДАТЧИКА

Аннотация. Цель работы – повышение чувствительности F-метрического преобразователя индуктивности. Найдены условия управления крутизной характеристики преобразования измерительного генератора на основе комбинированной операционной схемы путем изменения степени компенсации начальной индуктивности параметрического датчика, включенного в резонансный контур генератора.

Ключевые слова: индуктивность, сопротивление, импеданс, датчик, генератор, комбинированная операционная схема, приращение частоты, компенсация, чувствительность, F-метр.

Введение. В современных устройствах измерения и контроля широко используют метод F -метра, позволяющий довольно просто преобразовывать реактанс датчика в частоту гармонических колебаний [1]. Недостатком метода является его ограниченная чувствительность к изменению контролируемого параметра. Поэтому актуальным является создание средств, позволяющих увеличить чувствительность контроля методом F -метра.

В работах [2,3] заложены основы синтеза преобразователей импеданса на операционных усилителях. Выводы из [4] указывают на целесообразность использования комбинированной операционной схемы для создания измерительного генератора с управляемой чувствительностью.

Постановка задачи. Целью работы является разработка F -метра с повышенной чувствительностью к изменению индуктивности параметрического датчика.

Основная часть. Измерительный генератор на основе линейной комбинированной операционной схемы (ЛКОС) показан на рис. 1.

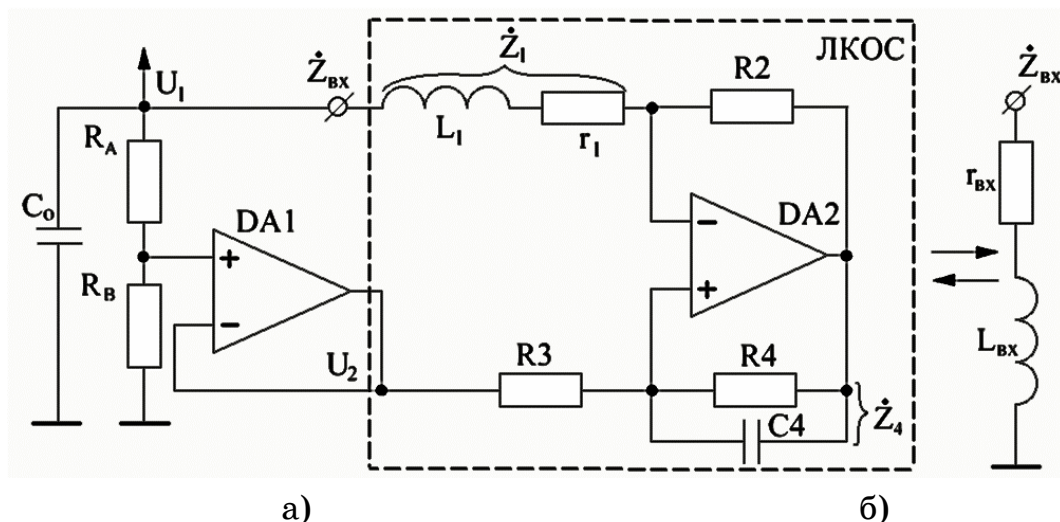


Рисунок 1 – Измерительный генератор на основе ЛКОС (а);
эквивалентное представление ЛКОС (б)

В линейной комбинированной операционной схеме с индуктивным импедансом в цепи отрицательной обратной связи характерным является наличие комбинированной обратной связи, а также то, что внешние сигналы возбуждения U_1 и U_2 поступают синфазно на оба входа операционного усилителя DA2. Из выводов к работе [4] следует, что входной импеданс ЛКОС равен

$$\dot{Z}_{\text{вх}} = (\dot{Z}_1 - R_2 R_3 / \dot{Z}_4) / (1 - n), \quad (1)$$

где $\dot{Z}_1 = r_1 + j\omega L_1$ – комплексный импеданс индуктивности L_1 с активным сопротивлением r_1 ; R_2, R_3 – активные сопротивления цепи комбинированной обратной связи усилителя DA2; $\dot{Z}_4 = R_4 / (1 + j\omega C_4 R_4)$ – комплексный импеданс параллельно соединенных сопротивления R_4 и емкости C_4 ; $n = U_2 / U_1$, U_1 и U_2 – напряжения сигналов возбуждения. Повторитель на усилителе DA1 с резистивным делителем R_A, R_B представляет собой источник напряжения возбуждения U_2 , синфазного входному напряжению U_1 . Отношение n напряжений возбуждения можно представить через отношение сопротивлений делителя в виде

$$n = R_B / (R_A + R_B), \quad (2)$$

тогда входной импеданс $\dot{Z}_{\text{вх}}$, выраженный через параметры схемы, будет

$$\dot{Z}_{\text{вх}} = (1 + R_B / R_A) (r_1 + j\omega L_1 - R_2 R_3 / R_4 - j\omega C_4 R_2 R_3). \quad (3)$$

Справедливо также, что $\dot{Z}_{ex}$, представленный через входные параметры, равен

$$\dot{Z}_{ex} = r_{ex} + j\omega L_{ex}, \quad (4)$$

где r_{ex} , L_{ex} – входные активное сопротивление и индуктивность. Тогда из (3) и (4) следуют выражения активной и индуктивной составляющих входного импеданса ЛКОС

$$r_{ex} = (1 + R_B/R_A)(r_1 - R_2R_3/R_4), \quad (5)$$

$$L_{ex} = (1 + R_B/R_A)(L_1 - C_4R_2R_3), \quad (6)$$

показывающие, что в настоящей схеме индуктивность L_1 с активным сопротивлением r_1 преобразуются во входные индуктивность L_{ex} и сопротивление r_{ex} с коэффициентом умножения равным

$$m = (1 + R_B/R_A), \quad (7)$$

который, при $R_B \gg R_A$, может принимать большие значения. Из (5) следует, что умножение активного сопротивления r_1 сопровождается его компенсацией отрицательной активной составляющей входного импеданса ЛКОС равной

$$R_{(-)} = -R_2R_3/R_4, \quad (8)$$

при $|R_{(-)}| \rightarrow r_1$ входное сопротивление $r_{ex} \rightarrow 0$, что указывает на возможность существенного повышения добротности индуктивности.

Из (6) следует, что умножение индуктивности L_1 на коэффициент m происходит одновременно с уменьшением ее начального значения на величину $C_4R_2R_3$, которую будем называть компенсирующей индуктивностью L_k . Выражение (6) представим в виде

$$L_{ex} = m(L_1 - L_k). \quad (9)$$

Допустим, что под воздействием контролируемого параметра индуктивность датчика L_1 изменяется на величину ΔL_1 , тогда входная индуктивность ЛКОС становится

$$L_{ex} + \Delta L_{ex} = m(L_1 + \Delta L_1 - L_k). \quad (10)$$

Из (9), (10) следует, что абсолютное и относительное приращение входной индуктивности составляют

$$\Delta L_{ex} = m\Delta L_1, \quad (11)$$

$$\Delta L_{ex}/L_{ex} = \Delta L_1/(L_1 - L_k), \quad (12)$$

причем, при $L_k \rightarrow L_1$ $\Delta L_{ex}/L_{ex} \rightarrow \infty$. Видно, что абсолютное приращение входной индуктивности определяется коэффициентом умножения m , а относительное приращение – величиной компенсирующей индуктивности L_k . Это показывает, что в ЛКОС возможно масштабирование индуктивности датчика с управлением величины чувствительности к контролируемому параметру.

К входу ЛКОС подключена емкость C_o , которая с входной индуктивностью L_{ex} образует колебательный контур с резонансной частотой

$$f = \frac{1}{2\pi\sqrt{L_{ex}C_o}}. \quad (13)$$

Из (5) следует, что при выполнении условия $r_1 < R_2R_3/R_4$ в контуре присутствует отрицательная активная составляющая входного сопротивления ЛКОС, компенсирующая активные потери в контуре и обеспечивающая стационарные гармонические колебания на резонансной частоте (13), которая с учетом (9) имеет вид

$$f = \frac{1}{2\pi\sqrt{m(L_1-L_k)C_o}}. \quad (14)$$

При изменении индуктивности датчика L_1 приращение частоты можно определить в виде

$$\Delta f = \frac{df}{dL_{ex}} \Delta L_{ex} = - \frac{1}{4\pi\sqrt{m(L_1-L_k)C_o}} \frac{\Delta L_1}{(L_1-L_k)}. \quad (15)$$

Из (15) видно, что приращение частоты существенно увеличивается при $L_k \rightarrow L_1$. Последнее обосновывает возможность повышения чувствительности F -метра на основе ЛКОС к изменению индуктивности L_1 параметрического датчика.

Экспериментальная проверка выражений (14) и (15) была проведена на измерительном генераторе (рис.1), собранном на операционных усилителях ICL7650 с индуктивностью $L_1 = 21$ мГн, емкостью $C_o = 1,106$ мкФ и начальной частотой 460 Гц. На рис. 2 показаны экспериментальные зависимости модуля приращения частоты Δf генератора от приращения индуктивности ΔL_1 датчика при вариации значений компенсирующей индуктивности L_k от 0 до 17,23 мГн. Экспериментальные данные показывают, что зависимости $\Delta f(\Delta L_1)$ линейны; при компенси-

рующей индуктивности $L_k = 0$ (зависимость 5) чувствительность к ΔL_1 минимальная и составляет 7,5 Гц/мГн, при увеличении значения L_k чувствительность возрастает (зависимости 1–4), так при $L_k = 17,23$ мГн (зависимость 1) чувствительность увеличивается в пять раз до 39,2 Гц/мГн. Это подтверждает, что величиной компенсирующей индуктивности L_k , относительно начальной индуктивности датчика L_1 можно управлять чувствительностью измерительного генератора в пределах условия $L_1 - L_k > 0$.

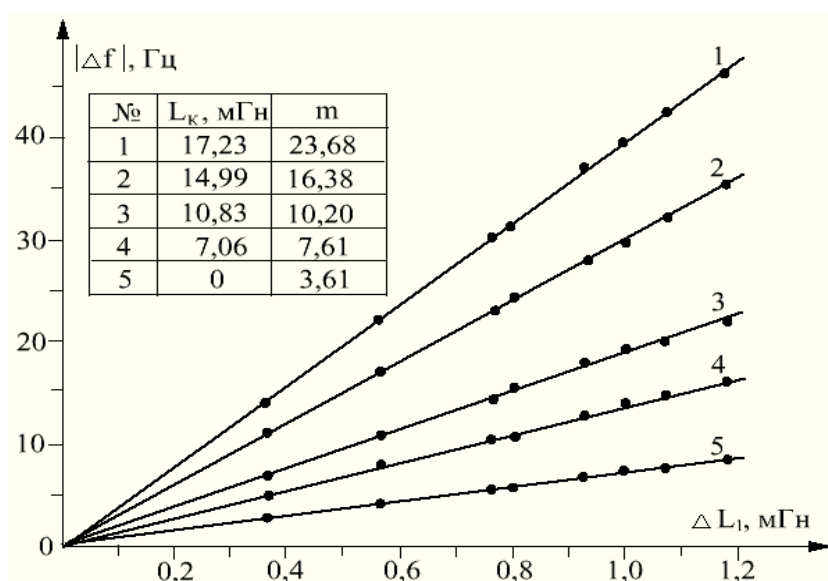


Рисунок 2 – Приращение частоты Δf генератора как функция индуктивности датчика L_1 для разных значений компенсирующей индуктивности L_k

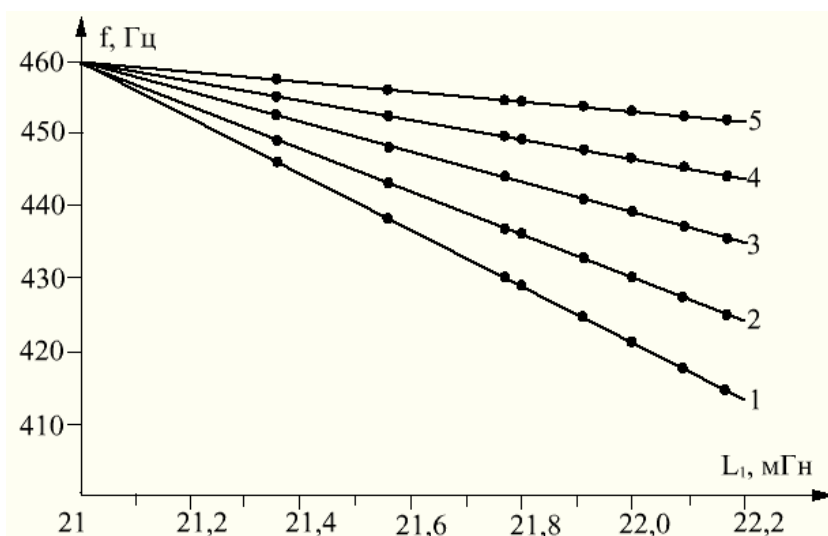


Рисунок 3 – Характеристики преобразования измерительного генератора

Экспериментальное семейство характеристик преобразования (рис.3) при изменении компенсирующей индуктивности от 0 (зависимость 5) до 17,23 мГн (зависимость 1) также подтверждают увеличение крутизны характеристики преобразования при $L_k \rightarrow L_1$.

Расчетные зависимости (14) и (15) достаточно хорошо согласуются с экспериментальными данными, отличие (из-за неидеальности операционных усилителей и погрешности измерительных приборов) не превышает 5%.

Вывод. Проведенные исследования измерительного генератора на основе линейной комбинированной операционной схемы показали следующее:

- компенсация начальной индуктивности датчика с одновременным умножением ее приращения позволяют управлять изменением частоты колебаний измерительного генератора;
- чувствительность изменения частоты измерительного генератора существенно определяется величиной компенсирующей индуктивности;
- использование измерительного генератора на основе линейной комбинированной операционной схемы позволяет повысить чувствительность F -метра к изменению индуктивности параметрического датчика.

ЛИТЕРАТУРА

1. Измерения в электронике: Справочник [Текст] / В.А. Кузнецов, В.А. Долгов, В.М. Колесник и др. / Под ред. В.А. Кузнецова. – М.: Энергоатомиздат, 1987. – 512 с.
2. Филановский, И.М. Схемы с преобразователями сопротивления [Текст] / И.М. Филановский, А.Ю. Персианов, В.К. Рыбин. – Л.: Энергия, 1973. – 192 с.
3. Марше, Ж. Операционные усилители и их применение [Текст] / Ж. Марше. – Л.: Энергия, 1974. – 216 с.
4. Твердоступ Н.И. Обобщенная модель преобразователей импеданса [Текст] / Н.И. Твердоступ // Вісник Дніпропетр. ун-ту. Фізика. Радіoeлектроніка. – 2010. – Вип. 17, №2. – С. 103 - 108.

О.С. Тонкошкур, Є.Л. Повзло

АЛГОРИТМ ОБРОБКИ ДАНИХ КІНЕТИКИ ВІДГУКУ РЕЗИСТИВНОГО ГАЗОВОГО СЕНСОРУ НА ОСНОВІ МОДЕЛІ РОЗТЯГНУТОЇ ЕКСПОНЕНЦІАЛЬНОЇ ФУНКЦІЇ

Анотація. Проведено оцінку придатності алгоритму на основі моделі розтягнутої експоненціальної функції для обробки даних кінетики відгуку резистивних газових сенсорів з метою розширення функціональних властивостей відповідних інформаційно-вимірювальних технологій та практичного застосування. Апробація алгоритму на зразках газових сенсорів на основі керамічного оксиду цинку показала його ефективність для моделювання кінетики спаду відгуку після впливу активного газу (метану). Визначені параметри: статичне значення відгуку; середній час релаксації та його розподіл.

Ключові слова: алгоритм, розтягнута експоненціальна функція, резистивний газовий сенсор, кінетика, відгук.

Вступ. Резистивні газові сенсори на основі напівпровідників широко застосовуються для детектування різноманітних газів [1]. В якості основних функціональних характеристик при їх застосуванні та дослідженні використовують, як правило, залежності статичної газочутливості (відгуку) від концентрації активного газу в повітряній атмосфері та температури [2]. Одним з напрямків отримання додаткової інформації про особливості фізико-хімічних процесів, відповідальних за газочутливі властивості такого класу сенсорів, є дослідження кінетики процесу детектування.

Слід зазначити, що до теперішнього часу кінетичні характеристики більшою мірою використовувалися для технічних потреб, зокрема, для експериментальної оцінки та демонстрації швидкодії сенсорних елементів [3-5]. Застосування сучасних інформаційно-вимірювальних засобів істотно підвищило ефективність експериментальних досліджень розглянутих ефектів на стадії отримання і зберігання великих масивів даних в цифровому вигляді [6]. Однак, на наступних етапах їх аналізу потрібні розробки відповідних

алгоритмів обробки даних, які, з одного боку, могли б забезпечити отримання відомостей про параметри, що характеризують кінетику газосенсорних властивостей аналізованих об'єктів, а, з іншого боку, створили б теоретичну базу для подальшої автоматизації самого вимірювального процесу.

Перспективним для вирішення таких завдань є використання загальних феноменологічних моделей на основі розтягнутої експоненційної функції Кольрауша-Вільямса-Воттса [7, 8] для опису кінетики релаксаційних залежностей відгуку, зокрема на стадії відновлення. Її особливістю є придатність для опису релаксаційних явищ в неупорядкованих системах, в яких динамічні процеси відбуваються одночасно в багатьох часових діапазонах [9].

Постановка завдання. Метою роботи було визначення рівня придатності алгоритму на основі моделі розтягнутої експоненційної функції для обробки даних кінетики відгуку резистивних газових сенсорів.

Основна частина. Реакція (відгук) сенсора визначалася як $S = (\sigma - \sigma_0) / \sigma_0$, де σ і σ_0 – електропровідність зразка сенсора в присутності і відсутності детектованого газу в повітрі. При вимірюванні кінетики, була реалізована схема з виходами вимірювача електропровідності (цифрового електрометра) і вимірювача температури (термопари), які через узгоджувальний цифровий пристрій були сполучені з комп'ютером [6].

Відлік часу здійснюється за допомогою комп'ютера. Інтервал часу між фіксацією двох послідовних вимірювань величини S становить 0,5 секунди. Відліки електричної провідності і часу зберігаються в файл пам'яті комп'ютера в процесі експерименту.

Приклад типової кінетичної залежності відгуку резистивного газового сенсора на імпульсний вплив активного газу наведений на рис. 1.

Як вже зазначалося раніше, розтягнута експоненціальна функція Кольрауша-Вільямса-Воттса призначена для апроксимації кінетики релаксації систем до своїх рівноважних значень, тобто для процесів відновлення вихідного стану сенсора після припинення впливу активного газу $S(t^{(rec)})$ (рис. 1).

При подальшому описі моделі приймемо що розтягнута експоненціальна функція $f_{KWW}(t)$ [10] в даному випадку може бути записана наступним чином

$$S(t) = S(0) \cdot f_{KWW}(t) = S(0) \cdot \exp\left[-(t/\tau_{KWW})^\beta\right]. \quad (1)$$



Рисунок 1 - Типова експериментальна кінетична залежність відгуку зразка резистивного газового сенсора ($t^{(res)}$ і $t^{(rec)}$ осі часу, відповідні процесам детектування і відновлення)

У виразі (1) $S(0)$ – стаціонарне (максимальне) значення відгуку при $t = 0$. Параметр τ_{KWW} є характеристичним часом, який пов'язаний із середнім часом релаксації наступним співвідношенням [10-11]:

$$t_{rel} = \int_0^\infty f_{KWW}(t) dt = \frac{\tau_{KWW}}{\beta} \Gamma\left(\frac{1}{\beta}\right), \quad (2)$$

де $\Gamma(x)$ – гама функція.

Величина β – показник, який вказує ступінь розтягу функції $f_{KWW}(t)$, яка відповідно [10,12] може бути представлена у вигляді

$$f_{KWW}(t) = \exp\left[-(t/\tau_{KWW})^\beta\right] = \int_0^\infty z(\tau, \beta) \cdot \exp(-t/\tau) \cdot d\tau, \quad (3)$$

де $z(\tau, \beta)$ – щільність розподілу простих експоненціальних релаксаційних процесів, лінійна суперпозиція яких призводить до розглянутої розтягнутої експоненціальною функції.

Алгоритм обробки експериментальних даних на основі зазначеної моделі включає наступні операції:

1. Первинна (попередня) обробка даних: відліки електропровідності і часу, які були занесені у пам'ять комп'ютера в процесі експерименту, представляються у вигляді табличних функцій $\log(S_k)$ від $\log(t_k)$, де $k = 1, 2, \dots, K$. Кількість відліків складає величину порядку декількох сотень і більше точок. Це дозволяє проводи-

ти їх попередню статистичну обробку шляхом побудови емпіричної регресійної залежності. Тобто весь діапазон значень $\log(t_k)$ розбивають на елементарні відрізки. На кожному елементарному i -тому відрізку знаходять середнє арифметичне $\overline{\log(S)_i}$, якому ставиться у відповідність координата середини вказаного відрізка $\overline{\log(t)_i}$.

2. Знаходження величини невідомого коефіцієнта β із застосуванням координат $t \times [d \log S(t)/dt]$ і $\log S(t)$ для виразу (1), в яких вихідна залежність стає прямою [12, 13] (рис. 2а), а сам коефіцієнт є тангенсом кута її нахилу $\beta = \Delta \{ t \times [d \log S(t)/dt] \} / \Delta \log S(t)$. Для обчислення похідних вихідна таблична залежність попередньо представлялась у вигляді інтерполяційного полінома із застосуванням кубічних сплайнів.

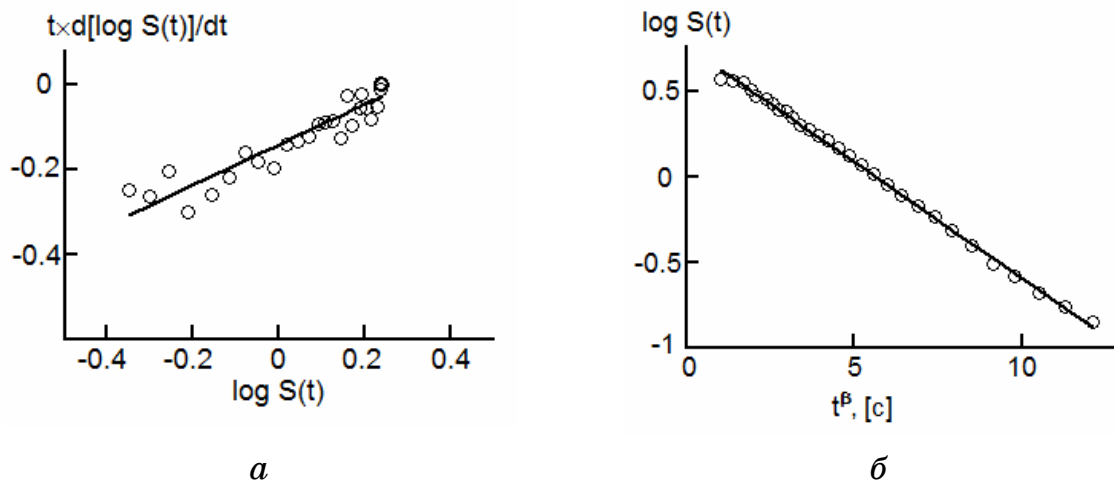


Рисунок 2 - Релаксація відгуку резистивного газового сенсора після припинення впливу активного газу в координатах, які використовуються для визначення параметрів β (а) і τ_{kww} (б).

Експеримент – крапки, апроксимація розтягнутою експоненціальною функцією – суцільна лінія

3. Визначення невідомих параметрів τ_{kww} і $S(0)$ шляхом застосування для експериментальних даних координат $\ln S(t)$ і $(t)^\beta$. Величина β – вже відома. Апроксимуюча залежність також зображується

прямою лінією (рис. 2б) і, таким чином, $\tau_{kww} = [-\Delta \ln S(t) / \Delta(t^\beta)]^{-1/\beta}$ і $S(0) = \exp \{ \ln S(t) + (t/\tau_{kww})^\beta \}$.

4. Розрахунок середнього часу релаксації відповідно до (2).

Результати апробації даного алгоритму наведено на рис. 3, де розглянута залежність в координатах $S(t)$ і t . Як видно, експериментальні дані задовільно описуються прямими лініями в використаних координатах. Відносна похибка апроксимації (коефіцієнт варіації) експериментальних залежностей виразом (1) становить величину меншу 3%.

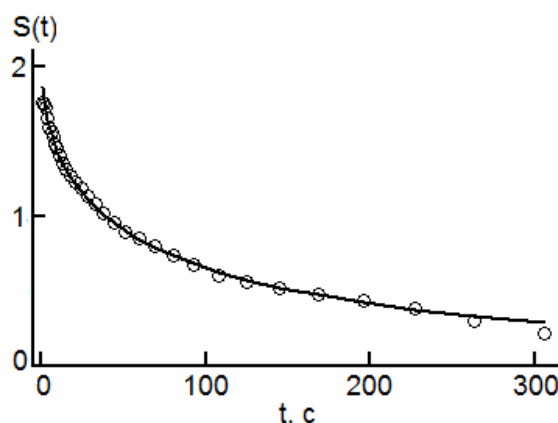


Рисунок 3 - Крива релаксації відгуку зразка газового сенсора при відновленні його вихідного стану.

Експеримент - крапки, апроксимація розтягнутою експоненціальною функцією – суцільна лінія

Отримані оцінки параметрів: статичного (максимального) значення відгуку $S(0)=2,5$; середнього часу релаксації $t_{rel}=150$ с і показника, який характеризує ширину розподілу елементарних експоненціальних релаксаційних процесів $\beta=0,47$, відповідають відомим уявленням про перехідні процеси розглянутого типу [3-5].

Висновки.

1. Обґрунтована можливість застосування розтягнутої експоненціальної функції для моделювання кінетики відгуку резистивних газових сенсорів на стадії відновлення їх вихідного стану.

2. Показана ефективність наведеного алгоритму обробки даних кінетики відгуку для розрахунку її параметрів, які можуть бути використані для побудови вимірювально-інформаційних технологій в експериментальних дослідженнях і застосуваннях розглянутих сенсорів.

ЛИТЕРАТУРА

1. Obvintseva L.A. Metal oxide semiconductor sensors for determination of reactive gas impurities in air // *Russian Journal of General Chemistry*. – 2008. – 78'(12). – P.2545-2555.
2. Полупроводниковые сенсоры в физико-химических исследованиях / Мясликов И.А., Сухарев В.Я., Куприянов Л.Ю., Завьялов С.А. – М.: Наука, 1991. – 327 с.
3. Korotcenkov G., Brinzari V., Golovanov V. & Blinov Y. Kinetics of gas response to reducing gases of SnO₂ films, deposited by spray pyrolysis // *Sensors and Actuators B: Chemical*. – 2004. – 98'(1). – P.41-45.
4. Liewhiran C. & Phanichphant S. Influence of thickness on ethanol sensing characteristics of doctor-bladed thick film from flame-made ZnO nanoparticles // *Sensors*. – 2007. – 7'(2). – P.185-201.
5. Prajapati C. S. & Sahay, P. P. Alcohol-sensing characteristics of spray deposited ZnO nano-particle thin films. // *Sensors and Actuators B: Chemical*. – 2011. – 160'(1). – P.1043-1049.
6. Ляшков А.Ю. Молекулярно-электронные процессы в газочувствительных керамических структурах на основе оксида цинка с добавкой серебра : дис. .. канд. физ.-мат. наук: 01.04.07. – Днепропетровск: ДНУ им. О. Гончара, 2011. – 167 с.
7. Simdyankin S.I. & Mousseau N. Relationship between dynamical heterogeneities and stretched exponential relaxation // *Physical Review E*. – 2003. – 68'(4). – P.041110.
8. Trzmiel J., Weron K., Janczura J. & Placzek-Popko E. Properties of the relaxation time distribution underlying the Kohlrausch–Williams–Watts photoionization of the DX centers in Cd_{1-x}Mn_xTe mixed crystals // *Journal of Physics: Condensed Matter*. – 2009. 21'(34). – P.345801.
9. Milovanov A.V., Rasmussen J.J. & Rypdal K. Stretched-exponential decay functions from a self-consistent model of dielectric relaxation // *Phys. Lett. A*. – 2008. – 372'(13). – P. 2148-2154.
10. Johnston D.C. Stretched exponential relaxation arising from a continuous sum of exponential decays // *Physical Review B*. – 2006. – 74'(18). – P.184430.
11. Hansen E.W., Gong X. and Chen Q. Compressed Exponential Response Function Arising From a Continuous Distribution of Gaussian Decays – Distribution Characteristics // *Macromolecular Chemistry and Physics*. – 2013. – 214'(7). – P. 844–852.
12. Хандецкий В.С., Тонкошкур Ю.А. Моделирование процесса обработки данных изотермического деполяризационного анализа с использованием функции Колярауша-Уильямса-Ватта / *Системные технологии*. – 2012. – 1(78). – С. 111-120.
13. Tonkoshkur Yu.A., Lyashkov A.Yu., Tonkoshkur A.S. Isothermal depolarization current in metal-oxide varistor ceramics under various polarizing fields // *Journal of advanced dielectrics*. – 2013. – 3'(2), P.1350016.

ОПТИМІЗАЦІЯ ТОПОЛОГІЇ ЯДРА КОМП'ЮТЕРНОЇ МЕРЕЖІ OSPF НА ОСНОВІ НЕЯВНОГО БАЛАНСУВАННЯ НАВАНТАЖЕННЯ

Анотація. Запропоновано модифікацію неявного коефіцієнту балансування навантаження ILBI, визначаючи його в залежності від відносної інтенсивності інформаційного трафіку в каналах ядра OSPF-мережі. Досліджено ядра з різною кількістю ABR маршрутизаторів. На цій основі проведено модифікацію топології ядра, що дозволило реалізувати більш рівномірний розподіл навантаження по каналам при значно більшій середній швидкості переміщення пакетів в ядрі.

Ключові слова: ядро, OSPF - мережа, неявне балансування навантаження.

Вступ. Комп'ютерні мережі, організовані з використанням протоколу маршрутизації внутрішнього шлюзу OSPF, у теперішній час займають провідне місце в Internet. В специфікації OSPF рекомендується оформляти окремі частини автономної системи (AS) у вигляді областей, в яких усі маршрутизатори містять однакові бази топологічної інформації і виконують однакові обчислення, передбачені даним протоколом [1]. Це дозволяє суттєво підвищити масштабованість мереж.

Область 0 автономної системи називається її опорною областю і може розглядатися як ядро AS. З опорною областю повинні з'єднуватися усі інші області AS. При цьому важливим для маршрутизації інформаційного трафіка в ядрі AS є організація інтерфейсів межових маршрутизаторів ядра (ABR), кожен з яких розташовується в місці з'єднання однієї області з іншою і має інтерфейси, що відносяться до різних областей. Внаслідок високої інтенсивності трафіка в нульовій області вельми актуальною стає задача балансування навантаження по її маршрутам.

Постановка завдання. Метою роботи є дослідження, з використанням неявного коефіцієнту балансування навантаження, топології ядра, орієнтованої, в першу чергу, на реалізацію тунелювання між

областями AS, і оптимізація топології ядра для розширення його універсальності і підвищення ступеня балансування навантаження.

Основна частина. Неявний коефіцієнт балансування навантаження (ILBI) λ визначається відношенням кількості каналів зв'язку, що використовуються при передачі інформаційного трафіку, до загальної кількості існуючих каналів [2]. Неявне балансування навантаження (ILB) показує, яким чином маршрути з різною метрикою розподіляють трафік мережі в процесі роботи, реально використовуючи усі істочники та пункти призначення. Балансування навантаження має ряд переваг, зокрема щодо підвищення надійності передачі інформації [3], більш швидкого відновлення працездатності [4], витримки щодо значних коливань інтенсивності трафіку [5].

Розглянемо топологію ядра (нульової області), в якому граничні маршрутизатори ABR A_1 та A_2 відповідних областей з'єднані магістральними маршрутами з полосаю 10 Gbps. Те ж відноситься до маршрутизаторів B_1 та B_2 , C_1 та C_2 і так далі. Ці магістральні маршрути використовують, як мінімум, по одному проміжному маршрутизатору, відповідно a, b, c Тобто передача між A_1 і A_2 здійснюється через a, між B_1 і B_2 – через b, між C_1 і C_2 – через c і так далі. Для об'єднання усіх маршрутизаторів ядра в єдину мережу і здійснення резервування усіх магістральних каналів введені канали з менш широкою полосаю 1 Gbps (згідно технології Ethernet), як показано на рис.1 для кількості ABR $N=10$.

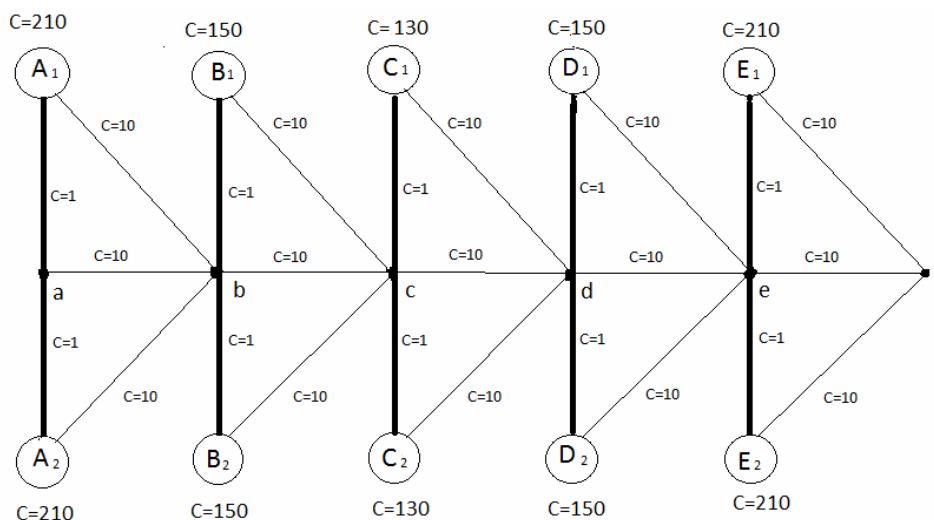


Рисунок 1 - Початкова топологія ядра автономної системи при $N=10$

На рис. 1 біля кожного ребра графу (каналу зв'язку) показано його вартість. Топології такого типу орієнтовані, в першу чергу, на реалізацію тунелювання між областями автономної системи, підключеними до одноіменних ABR маршрутизаторів A_1 - A_2 , B_1 - B_2 і так далі. Проте доцільним є, при збереженні цієї орієнтації, реалізувати більш універсальну мережу, в якій високошвидкісний обмін інформацією здійснюється між усіма маршрутизаторами ABR ядра автономної системи.

При визначенні оптимального маршруту з найменшою метрикою (вартістю) протокол OSPF використовує Dijkstra Shortest Path Algorithm (DSPA) [1]. Моделюючи мережу у якості графу, що налічує n вершин (вузлів) та m дуг (ребер), DSPA стартує від кореневого вузла і розширює покриваюче дерево через граф, доки усі вершини не будуть зв'язані з коренем найбільш короткими можливими шляхами. Найбільш коротким вважається шлях, що має найменшу вартість. В практичному використанні DSPA вартість звичайно розраховується інверсно до базисної ширини каналу, а вартість усього маршруту визначається, як сума вартостей його складових каналів (чи з'єднань).

Розглянемо процес обміну інформацією між усіма маршрутизаторами ABR ядра (рис.1). Будемо вважати, що кожний ABR відправив по одному інформаційному пакету усім іншим. Розрахуємо вартість маршруту для кожного інформаційного пакету і кількість пакетів, що пройшли по кожному каналу. Маршрути для пакетів визначимо на основі алгоритму DSPA. Так, наприклад, маршрут від E_2 до A_1 має вартість 41. На рис.1 біля кожного ABR наведено сумарну вартість маршрутів до нього від усіх маршрутизаторів ABR ядра, наприклад $C=130$ для маршрутизатора C_1 .

Будем змінювати кількість маршрутизаторів ABR в ядрі від 6 до 14. Відповідні значення сумарної вартості маршрутів для таких ядер наведені у верхньому рядку таблиці 1.

Таблиця 1

Сумарна вартість маршрутів для усього ядра

Сума вартостей для усіх маршрутизаторів ABR ядра	N=6	N=8	N=10	N=12	N=14
Початкова топологія	356	864	1700	2944	4676
Модифікована топологія	76	152	294	472	716

На рис. 2 показані графіки зміни сумарної вартості маршрутів для кожного ABR при переміщенні у напрямку $A_1 \rightarrow B_1 \rightarrow C_1 \dots$ (чи $A_2 \rightarrow B_2 \rightarrow C_2 \dots$); при цьому цифра 1 на осі абсцис рис.2 відповідає A_1 , цифра 2 – B_1 , цифра 3 – C_1 і так далі.

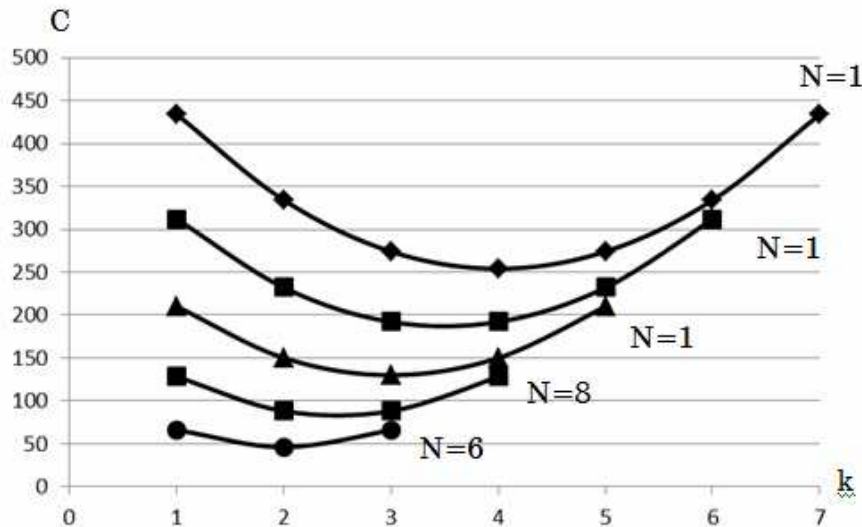


Рисунок 2 - Зміни сумарної вартості маршрутів для кожного маршрутизатора ABR початкової топології ядра при пересуванні у напрямку $A_1 \rightarrow B_1 \rightarrow C_1 \dots$ для ядер зрізним числом ABR

Визначимо ILBI λ_0 для ядер з різними N. Наприклад, для ядра автономної системи, що показано на рис.1, загальна кількість каналів дорівнює 22. З'єднання E_1f , ef та E_2f не враховуємо, вони показані для ілюстрації того, що мережа може поширюватись вправо. Кількість каналів, по яких проходять пакети, дорівнює 21 (по каналу ab пакети не проходять). Тому $\lambda_0 = 21/22 = 0,95$.

Ми пропонуємо модифікувати коефіцієнт ILBI λ , визначаючи його в залежності від відносної інтенсивності трафіка в каналах ядра. Повернемося до топології ядра, представленої на рис.1. Аналіз кількості пакетів, що пройшли по його каналах, при умові, що кожний маршрутизатор ABR надіслав по одному інформаційному пакету усім іншим, показав, що максимальна кількість пакетів пройшла по каналу cd . Ця кількість дорівнює $I_{\max} = 32$. Визначим канали, по яким проходить менше 10%, 20% і 30%, від максимальної кількості, пакетів. Для розглядаємої на рис.1 топології таких каналів налічується відповідно 3, 7 і 13. Відповідні значення ILBI ми визначимо як $\lambda_{0,1} = (22-3)/22 = 0,86$, $\lambda_{0,2} = (22-7)/22 = 0,68$, $\lambda_{0,3} = (22-13)/22 = 0,59$.

Аналогічним чином відповідні значення λ розраховані для мереж з $N=6, 8, 10, 12$ і 14 [6]. Аналізуючи одержані значення, можна сказати, що при збільшенні N вони монотонно зменшуються. Відповідні діапазони складають: $\lambda_{0,1}(N=6)=0,92$ - $\lambda_{0,1}(N=14)=0,78$; $\lambda_{0,2}(N=6)=0,92$ - $\lambda_{0,2}(N=14)=0,53$; $\lambda_{0,3}(N=6)=0,75$ - $\lambda_{0,3}(N=14)=0,34$. Це указує на значну нерівномірність розподілу інформаційного трафіку в ядрі автономної системи. Якщо враховувати тільки ті канали, по яким проходить інформаційний трафік, то його середня інтенсивність при збільшенні N від 6 до 14 збільшилася від 6,18 до 20,77, при цьому коефіцієнт розсіювання збільшився від 47% при $N=6$ до 87% при $N=14$.

Модифікація ядра мережі була направлена на зменшення нерівномірності розподілу інформаційного трафіка та зменшення вартості доставки пакетів, тобто фактично зниження їх затримки. Модифікацію здійснено з використанням коефіцієнту $\lambda_{0,3}$ наступним чином: широкосмугові канали (10Gbps) з інтенсивністю трафіка менше 30% від максимальної замінені каналами з менш широкою полосою (1Gbps), а такі канали з інтенсивністю трафіка більшою ніж 30% замінені широкосмуговими. Така топологія при $N=10$ показана на рис.3.

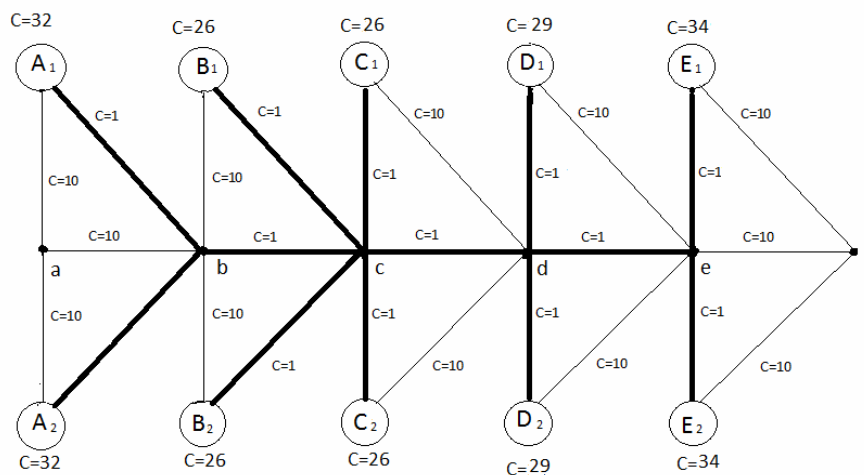


Рисунок 3 - Модифікована топологія ядра автономної системи
при $N=10$

Значення сумарної вартості маршрутів для усього ядра, наведені для різних N у другому рядку табл.1. Аналогічні рис. 2 графіки, які характеризують топології модифікованих ядер, показані на рис. 4. Видно, що досягнуто значне зменшення вартості доставки па-

кетів, тобто значно підвищена швидкість їх доставки. При цьому відносне зменшення вартості, як виходить з табл.1 стає більш вагомим при збільшенні N (від 4,68 при N=6 до до 6,53 при N=14). Статистичні результати роботи модифікованих ядер автономних систем комп'ютерних мереж OSPF зібрані в табл.2.

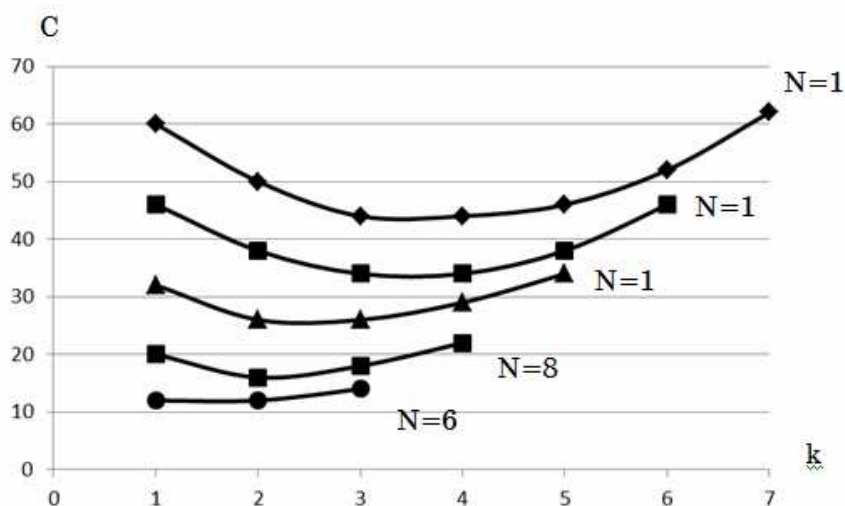


Рисунок 4 - Зміни сумарної вартості маршрутів для кожного маршрутизатора ABR модифікованої топології ядра при пересуванні у напрямку $A_1 \rightarrow B_1 \rightarrow C_1 \dots$ для ядер з різним числом ABR

Таблиця 2

Статистичні характеристики роботи модифікованих ядер

N	$\gamma_{\text{ср}}$	σ	$\alpha, \%$	$\xi, \%$
6	10,86	2,27	21	17
8	16,0	4,22	26	25
10	22,46	9,28	41	33
12	29,5	14,78	50	33
14	37,68	22,49	60	36

Середня інтенсивність трафіку $\gamma_{\text{ср}}$ в модифікованому ядрі значно перевищує відповідні значення для початкової топології (для N=6 на 76%, для N=8 на 78%, для N=10 на 92%, для N=12 на 81%, для N=14 на 81%). Середньоквадратичне відхилення σ і, особливо, його приведені значення (коефіцієнт розсіювання) суттєво менше, чим для попередньої топології (для N=6 на 55%, для N=8 на 51%, для N=10 на 35%, для N=12 на 33%, для N=14 на 31%). Слід відмітити постійність неявного коефіцієнту балансування навантаження при змінах інтенсивності трафіку - $\lambda_0 = \lambda_{0,1} = \lambda_{0,2} = \lambda_{0,3} = 0,59$, при цьому це значення не залежить від числа N маршрутизаторів ABR, тобто від

розмірів ядра автономної системи. В останньому стовпчику табл.2 наведено процентне збільшення кількості широкосмугових каналів ξ при переході до модифікованої топології. Видно, що це збільшення є помірним. Канали з меншою шириною смуги виконують виключно резервні функції.

Висновки

1. З використанням неявного коефіцієнту балансування навантаження ILBI досліджено топологію ядра автономної системи OSPF-мережі, орієнтованого на реалізацію тунелювання між областями автономної системи, підключеними до одноіменних ABR маршрутизаторів.

2. Запропоновано модифікацію коефіцієнта ILBI, визначаючи його в залежності від відносної інтенсивності інформаційного трафіка в каналах ядра. Досліджено ядра з різною кількістю ABR маршрутизаторів. На цій основі проведено модифікацію топології ядра, що дозволило реалізувати більш рівномірний розподіл навантаження по каналам зв'язку при значно більшій середній швидкості переміщення пакетів в ядрі.

ЛІТЕРАТУРА

1. Хилл Б. Полный справочник по Cisco. – СПб.: Издательский дом „Вильямс”, 2006. – 1078 с.
2. Ground Vic, Houlden Nigel. Some Notes and Results on Bandwidth-based Routing and Implicit Load Balancing. - Proc. of the 8th Int. Network Conference INC 2010, Chapter 1. – P. 19-30.
3. Bhandari R. Survivable Networks: Algorithms for Diverse Routing. – Springer, 1998. – 465 p.
4. Paula Herman W., Almeida Amazonas J.R. Hop-by-hop Routing Convergence Analysis Based on Paths Algebra. – Proc. IEEE Conf. Electronics, Robotics and Automotive Mechanics (CERMA, 2007), Morelos, Mexico. - P. 9-14.
5. Rezaul K.M. Estimating Long-Range Dependent Self-Similar Network Traffic. – Performance Evaluation and Control, PhD Thesis, University of Wales, October 2007.
6. Хандецький В.С. Модифікація топологій OSPF-мереж з урахуванням навантаження каналів зв'язку. – Матеріали VIII Міжн. наук.-практ. конф. «Сучасні проблеми і досягнення в галузі радіотехніки, телекомунікацій та інформаційних технологій», м.Запоріжжя, 21-23 вересня 2016 р. – С. 76-77.

О.С. Морозов, О.В. Коваленко, М.Ф. Буланий
**АВТОМАТИЗОВАНА ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНА УСТАНОВКА
ДЛЯ ДОСЛІДЖЕННЯ КІНЕТИКИ ФОТОЛЮМІНЕСЦЕНЦІЇ
ПРИ ІМПУЛЬСНОМУ ЗБУДЖЕННІ**

Анотація. Наведено опис експериментальної установки, призначеної для дослідження спектрів фотолюмінесценції при імпульсному збудженні від лазерного джерела. Це дозволяє за часом загасання сигналу, що реєструється на різних довжинах хвиль в діапазоні від 400 до 700 нм, отримати інформацію про індивідуальні складові інтегрального спектру. Реєстрація здійснюється за допомогою АЦП, що запускається синхронно зі збуджуючим лазером. Представлені блок-схеми експериментальної установки та пристрою управління експериментом, описано його складові: підсилювач ФАПЧ, АЦП подвійного інтегрування з пристроєм вибірки-зберігання і дешифратором семисегментного коду в прямий двійковий код, АЦП послідовних наближень, комутатор виходів АЦП для LPT порту ЕОМ, контролер і формувач імпульсу запуску лазера.

Дана робота буде цікавою для осіб, що займаються дослідженням оптичних характеристик різних напівпровідникових і діелектричних матеріалів в об'ємних, плівкових і квантоворозмірних структурах.

Ключові слова: Кінетика фотолюмінесценції, складові спектрів фотолюмінесценції, імпульсний лазер, методика вимірювань.

Вступ. Звичайними засобами збудження окремі смуги спектрів фотолюмінесценції напівпровідникових кристалів не визначаються завдяки перекриттю однієї з іншою. Таким чином вони утворюють широкі інтегральні смуги випромінювання.

Постановка завдання. Для дослідження спектрів фотолюмінесценції таких кристалів при кімнатній температурі був обраний імпульсний спосіб збудження [1]. Цей метод в порівнянні з традиційними [2, 3] має перевагу, яка дозволяє при кімнатній температурі експериментально отримати інформацію про спектри окремих смуг, що мають напівширину 0,015-0,020 еВ.

Основна частина. Основні принципи запропонованого методу полягають в максимальному ослабленні імпульсу лазерного збуджен-

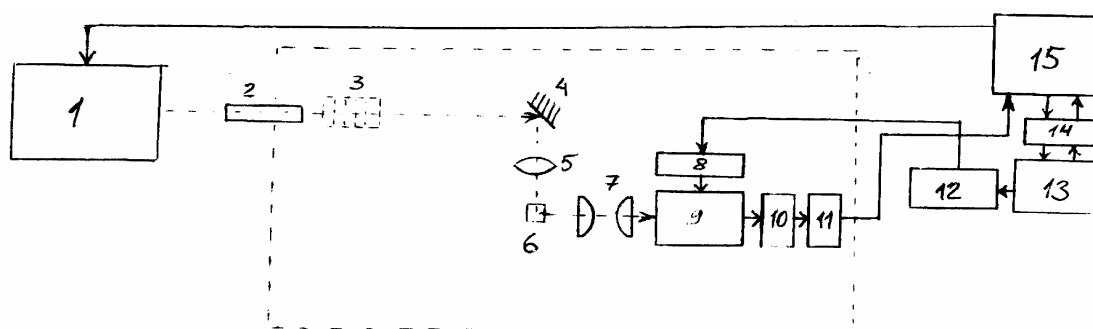
ня та мінімальних втрат інтенсивності фотолюмінесценції при її реєстрації.

Це досягається за рахунок наступного: імпульсного збудження з частотою 10 Гц, розташування зразка безпосередньо на входній щілині монохроматора, мінімально можливого його збудження при реєстрації кінетики загасання інтенсивності випромінювання зразка на межі технічних можливостей експериментальної установки.

Завдання пристрою управління експериментом включає, в головному, запуск лазера в певний час і введення до комп'ютеру значення фотолюмінесцентного імпульсу відгуку від кристала у відповідний час.

Газовий лазер був використаний в якості джерела збуджуючого випромінювання з $\lambda = 337$ нм, $P_{\text{сер}} \sim 0,6$ мВт, тривалістю імпульсу $6 \text{ нс} < t < 8 \text{ нс}$. Такий лазер було обрано завдяки можливості зовнішнього запуску. Додаткові параметри збуджуючої системи: амплітуда імпульсу, що запускає лазер 40 ± 4 В, частота повторення імпульсів $f = 5 - 1000$ Гц, тривалість імпульсу $3 \pm 0,3$ мкс. Робочим тілом лазера був азот під тиском 2,4 кПа.

Вся оптична частина установки (див. елементи 3 – 11 рис. 1) була захищена світлонепроникним екраном зі щільної тканини, в якій вбудована трубка діаметром 8 мм, для концентрації лазерного променя на зразку.



- | | |
|--|---------------------------------------|
| 1. Газовий лазер із зовнішнім запуском | 9. Монохроматор |
| 2. Трубка, яка відсікає зайве світло | 10. Фотопомножувач |
| 3. Нейтральні світлофільтри | 11. Передпідсилювач |
| 4. Дзеркало | 12. КАМАК |
| 5. Лінза | 13. ПК |
| 6. Утримувач зразка | 14. LPT порт ПК |
| 7. Коліматор | 15. Пристрій управління експериментом |
| 8. Кроковий двигун барабану | |

Рисунок 1 - Блок-схема експериментальної установки

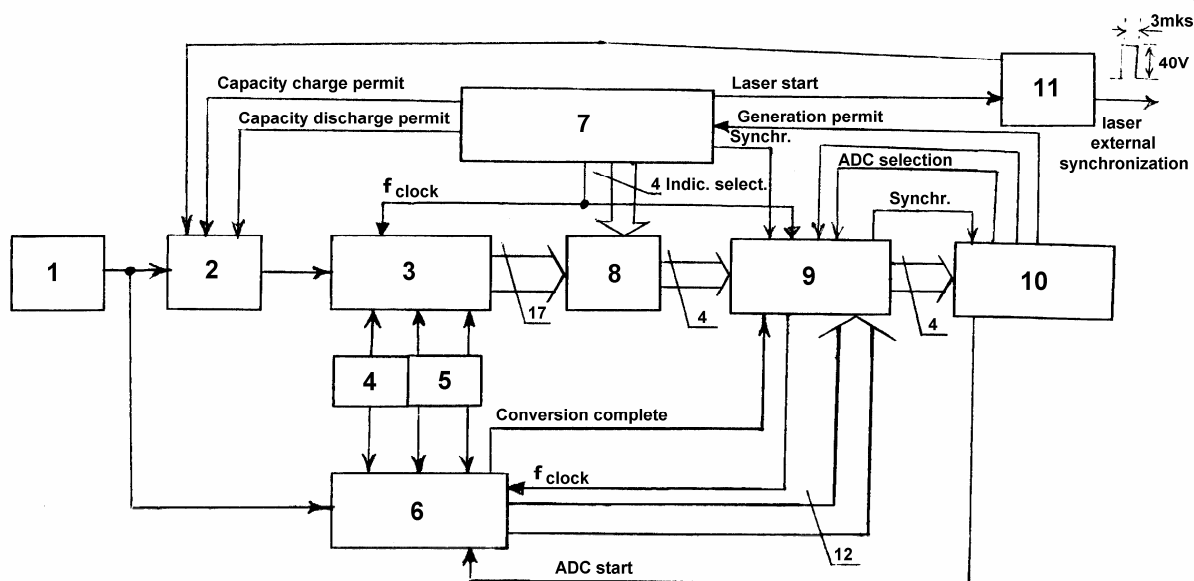
На шляху променя була розміщена касета з нейтральними світлофільтрами (до трьох) для досягнення ледь помітного світіння зразку. Далі лазерний промінь послаблений світлофільтрами фокусується в центрі кристала за допомогою лінзи (див. елемент 5 на рис. 1).

Монохроматор це пристрій, який розкладає фотолюмінесцентний світловий імпульс від кристала на обраній довжині хвилі. Він має високу роздільну здатність з мінімальним кроком сканування 0,1 нм і обладнаний автоматичним механізмом для обертання решітки. Барабан монохроматору обертається кроковим двигуном (600 кроків на 1 нм), керованим комп'ютером через КАМАК.

Механічна система монохроматору має певний зазор, який потрібно нейтралізувати. Якщо в процесі визначення інтенсивності фотолюмінесцентного імпульсу на довжині хвилі n нм, яка пропускається монохроматором, необхідно збільшити (зменшити) на Δn нм, то це реалізується шляхом обертання барабану монохроматору на $\Delta n - x$ нм ($-\Delta n - x$ нм). Потім програма, яка управляє експериментом, робить паузу за часом і здійснює завершальний поворот на x нм у бік збільшення довжини хвилі. Завдяки тому, що всі повороти відбуваються в один бік, точність позиціонування решітки покращується. В якості x ми взяли значення 3 нм.

Після виділення на обраній довжині хвилі складової спектру фотолюмінесценції її інтенсивність перетворював фотопомножувач у електричний імпульс негативної полярності з крутим переднім фронтом і плавним спадом заднього фронту за експоненціальним законом. Батарея термоелементів Пельтьє, яка охолоджувалася проточною водою, використовувалась для зменшення теплового шуму фотопомножувача. Живлення ФЕП здійснювалось стабілізованою напругою $U = 1200$ В.

Далі цей імпульс підсилював попередній підсилювач (див. 11 елемент рис. 2), який було змонтовано безпосередньо в головці ФЕП. Потім імпульс підсилювача, відповідний хвилі яскравості, перетворювався в цифрову форму і передавався через LPT-порт (14) в комп'ютер (13).



1. Основний підсилювач фотопомножувача (ФЕП)
2. Схема вибірки і зберігання
3. АЦП подвійного інтегрування
4. Джерела опорної напруги
5. Стабілізоване біполярне джерело живлення обох АЦП
6. АЦП послідовних наближень
7. Контролер
8. Декодер семисегментного коду в прямий двійковий код
9. Комутатор
10. LPT порт комп'ютера
11. Формувач імпульсу запуску лазера

Рисунок 2 - Блок-схема пристрою управління експериментом

Значення сигналу, що відповідає обраній довжині хвилі, усереднювали на 30 вимірюваннях і записували в комп'ютерному файлі для подальшої обробки.

На рис. 2 під відповідними номерами наведено:

1. Основний підсилювач ФЕП

Операційні підсилювачі з низьким шумом і без необхідності в зовнішніх колах корекції використовувалися в основному підсилювачі сигналу фотоелектронного помножувача. Перший каскад – це повторювач для узгодження опорів, і другий каскад – підсилювач з коефіцієнтом підсилення 1000, який інвертує електронний сигнал. На виході імпульс вже має позитивну полярність. Вихідний сигнал не повинен перевищувати $U_{\text{вих}} = 200$ мВ для уникання перевантаження АЦП.

2. Схема вибірки-зберігання

Чотири аналогові комутатори [4] (в якості транзисторних безконтактних аналогів електромеханічних реле) були з'єднані попарно і використовувались для зарядки або розрядки накопичувального конденсатору під дією сигналів ТТЛ.

Два одновібратори в кожній мікросхемі [5] формують керуючі сигнали для двох пар комутаторів. Перша мікросхема формує регульовані паузи за часом, затримані від імпульсу запуску лазера: 0 - 45 мс (для заряду $C_{\text{накоп}}$) і 50 - 90 мс (для розряду $C_{\text{накоп}}$). Друга мікросхема формує безпосередньо імпульс заряду з регульованою тривалістю 0 - 5 мс і потім імпульс розряду з регульованою тривалістю в тих же межах. Таким чином, короткий сигнал "вирізається" з хвилі яскравості з великою тривалістю, після цього ця квазіпостійна напруга конвертується в цифрову форму аналого-цифровим перетворювачем подвійного інтегрування. Кола одновібраторів, які встановлювали час були обчислені за формулою: $C, \mu F = 3 \frac{\tau_p, ms}{R, kOhm}$, де $R = 100$ і $\tau_p = 45, 40, 5$.

3. АЦП подвійного інтегрування

Використаний АЦП подвійного інтегрування [6] з автоматичною корекцією нуля, визначенням вхідної полярності, а також з виходом на семисегментні світлодіодні індикатори. Його характеристики:

1. Діапазон вхідного сигналу визначається зовнішньою опорною напругою $U_{\text{вх}} = \pm 1,999 U_{\text{оп}}$ (у нашому випадку $U_{\text{оп}} = 100$ мВ).
2. Струм витоку для входів АЦП порядку $10 \cdot 10^{-12}$ А.
3. Вхідний опір для диференціального і синфазного сигналів 20 МОм.
4. Частота перетворення 3 – 12,5 Гц (вона дорівнює $f_{\text{такт}}/16 \cdot 10^3$)

Для досягання максимального послаблення мережної завади тактова частота повинна вибиратись кратній частоті мережі: 40, 50, 100, 200 кГц. Ми вибрали частоту 200 кГц з умови $f_{\text{АЦП}} > f_{\text{експер.}} = 10$ Гц, тому $f_{\text{перетв.}} = 12,5$ Гц.

Використання сигналу "Generation permit" (див. рис. 2) дозволяє припиняти (відновлювати) подачу $f_{\text{такт}}$ програмним шляхом.

Конденсатори $C_{\text{инт}}$ і $C_{\text{ак}}$ необхідно вибирати з низькою абсорбцією у діелектрику. Ми вибрали конденсатори типу [7].

4. Джерела опорної напруги

В якості джерела опорної напруги АЦП подвійного інтегрування використаний польовий транзистор, який працював в так званій "термостабільній" точці. Коректуванням опору в колі витоку в широкому температурному діапазоні, ми досягли мінімальних змін $U_{оп} = 100$ мВ на виході. Допустимий порядок змін $\pm 1 - 5 \cdot 10^{-5}$ В.

Джерелом опорної напруги для АЦП послідовних наближень виступила звичайна схема компенсаційного стабілізатора з термостабільним стабілітроном з $\alpha_{ст} = 0,5 \text{ \% / } ^\circ\text{C}$.

5. Стабілізоване біполярне джерело живлення обох АЦП.

Джерело живлення було побудоване по відомій схемі:

Для ~ 18 В використовується тороїдальний феромагнітний трансформатор з двома ідентичними вторинними обмотками. Змінний струм навантаження обох обмоток не перевищує 0,5 А. Струм вторинної обмотки випрямляється окремими мостами з конденсаторами, які згладжують пульсації напруги.

Випрямлячі забезпечують постійну напругу від 17 до 22 В, значення якої визначає струм навантаження, варіації напруги, і т.д. Живити АЦП нестабілізованою напругою не можна, оскільки результат перетворення в цифрову форму буде весь час змінюватись. Для стабілізації випрямленої напруги до $\pm 15\text{V}$ застосовуються ідентичні стабілізатори напруги на операційному підсилювачі (ОП) з незвичайним способом включення:

ОП навантажений не як завжди – на вхід регулюючого елементу, а на постійний опір. Порівняння частини вихідної напруги стабілізатора з еталонною (на термостабільному стабілітроні) відбувається, як завжди, за винятком того, що стабілітрон живиться вже стабілізованою напругою.

При появі різниці потенціалів на входах ОП змінюється тільки струм споживання ОП, який у свою чергу, приводить до зміни опору колектор - емітер регулюючого транзистора. Частина вихідної напруги (у нашому випадку 15 В), яка знімається з резистивного діляника, знову стане рівною еталонній і внаслідок чого потенціали на входах ОП зрівнюються.

Застосування такої схеми стабілізатора дає нам дві незалежних стабілізованих різнополярних напруги з низькими пульсаціями. В

якості стабілізатору "-15 В", використовується такий самий стабілізатор, як "+15 В", але з заземленим виходом регулюючого елементу.

Для отримання стабілізованих напруг ± 5 В із стабілізованих ± 15 В використовуються два інтегральні стабілізатори.

6. АЦП послідовних наближень

З огляду на його швидкодію перетворення ($f_{\text{макс}} = 10$ кГц) цей АЦП використовується для перетворення в цифрову форму повного фотолюмінесцентного відгуку кристала, який реєструється від збуджуючого лазерного імпульсу (так зване "сканування всієї хвилі яскравості"). Він є зручним для оцінки часових характеристик, які необхідні для забезпечення точнішого вимірювання кінетики яскравості за допомогою АЦП подвійного інтегрування. Цей АЦП складається з чотирьох частин: буферний ОП, компаратор, 12-розрядний регістр послідовних наближень і цифроаналоговий перетворювач (ЦАП) в одному корпусі. Для формування імпульсу запуску АЦП послідовних наближень використовується одинібратор. Тривалість імпульсу запуску АЦП повинна бути менше ніж тривалість тактових імпульсів, яка в нашому випадку рівна 5 мкс. Нами обрана тривалість імпульсу запуску 3 мкс.

Сигнал від основного підсилювача фотопомножувача надходить на інший буферний ОП, який окрім забезпечення узгодження опорів підсилює сигнал у 50 разів до рівня 10 В, необхідного для роботи АЦП послідовних наближень.

На початку циклу перетворення за командою від комп'ютера "ADC start" нормований одинібратором імпульс дозволяє подачу тактових сигналів до регістру, які надходять до появи сигналу "Conversion complete" від останнього. Під час перетворення на аналоговому виході ЦАП присутній потенціал, якій відповідає потенціалу опорної напруги, поділеної на 4096 та водночас помноженої на число, подане в двійковому коді до входів ЦАП. Якщо $U_{\text{ЦАП вих}} < U_{\text{вимір}}$, то вихід компаратора електрично з'єднується із землею, що записує логічний 0 у розряд регістра. Шляхом зміни стану кожного розряду регістра (починаючи зі старшого), подальшої їх подачі до входів ЦАП, порівнянні сигналу на його аналоговому виході з вхідною напругою (в кількості 12 разів), отримуємо на виході регістра прямий двійковий код відповідний напрузі, що вимірюється.

Для розпізнавання логічної 1 регістром послідовних наближень на виході компаратору присутня частка напруги +15 В за допомогою зовнішнього дільника. Комп'ютер після отримання сигналу "Conversion complete" зчитує з LPT порту результат перетворення сигналу трьома порціями по чотири розряди.

7. Контролер

Контролер забезпечує часову синхронізацію блоків всієї експериментальної установки в цілому, а саме:

1) забезпечує стабільною тактовою частотою (200 кГц) обидва АЦП. Така частота утворюється шляхом поділення в 16 та 5 разів за допомогою мікросхем [8] базової частоти 1,6 МГц, яка в свою чергу, генерується класичним кварцовим генератором;

2) синхронізує запуск лазеру, роботу дешифратору АЦП подвійного інтегрування та схеми вибірки і зберігання.

Циклічна робота контролера може бути призупинена програмним забезпеченням, яке встановлює вхід скидання двійково-десяткових дільників частоти до логічного 0.

Виходячи з вимог експерименту частота збудження фотолюмінесценції повинна бути $f = 10$ Гц (вона отримується діленням 200 кГц частоти на чинник 20000) це було забезпечено вибором циклу з двадцяти кроків з тривалістю кроку $t = 5$ мс. Часова послідовність роботи блоків пристрою управління експерименту програмувалася в PROM [9], як було вказано у таблиці 1.

8. Декодер семисегментного коду в прямий двійковий код

Функціонування дешифратору будується на надмірності семисегментного коду. Зворотне перетворення семисегментного коду (числа від 0 до 9) у прямий двійковий здійснювалось шляхом аналізу п'яти з семи сегментів (сегменти "с" і "d" не аналізувалися). Для кожного дешифратору індикатору використовувались однаково запрограмовані PROM [9]. Сигнали індикації будь-якого десятикового числа від семисегментного індикатора були подані на входи дешифратору. Це формує прямий і зворотний двійковий код, який відповідає цій цифрі. Для визначення стану трьох індикаторів (одиниці, десятки, сотні мВ) АЦП на загальній шині виходи всіх дешифраторів паралельно з'єднані (монтажне АБО) завдяки їх вихідним каскадам із загальним колектором. На всі чотири провідника шини подано початкові рівні логічної 1, шляхом з'єднання їх з $U_{живл} = 5$ В через резистори 1 кОм. Контро-

лер сигналами "Indic. select." по чергово з'єднує виходи дешифраторів із загальною шиною. Максимальне можливе число станів цієї чотирьохрозрядної шини при передачі інформації становить 16. На додаток до трьох десяткових розрядів, які виводяться на семисегментні індикатори, АЦП видає на четвертому сигналі полярність "мінус" (показує полярність вимірюваної напруги) та "1" (тисячі або ознака переповнення). Два біта встановлюються в логічну 1 (11XX - діапазон чисел 12 - 15) для передачі в цій же чотирьохрозрядній шині. Інші два використовувалися для передачі саме позначок знаку, тисяч або переповнення. Тому комп'ютерне розпізнавання типу даних в шині стає можливим: якщо на ній число від 12 до 15, то це позначки знаку, тисяч (переповнення), якщо число в шині від 0 до 9, то це сотні-десятки-одиниці. Числа 10 та 11 взагалі не повинні знаходитись на шині даних (виходах дешифраторів).

Таблиця 1

Цикл дії контролеру

Такти	Команди контролеру	Примітка
1-10	Дозвіл заряду накопичувального конденсатору	
12-19	Дозвіл розряду накопичувального конденсатору	
12	Дешифрування семисегментного коду індикатору АЦП подвійного інтегрування	одиниці
14	Дешифрування семисегментного коду індикатору АЦП подвійного інтегрування	десятки
16	Дешифрування семисегментного коду індикатору АЦП подвійного інтегрування	сотні
18	Дешифрування семисегментного коду індикатору АЦП подвійного інтегрування	тисячі, полярність
13, 15, 17, 19	Дозвіл зчитування дешифрованого семисегментного коду індикатору АЦП подвійного інтегрування	
20	Запуск лазера	новий цикл

9. Комутатор

Залежно від вибору програмного забезпечення комутатор передає результат перетворення АЦП, обраного для дії, в порт LPT. Комутатор має RS-тригер, який дозволить видачу тактових імпульсів після сигналу від комп'ютера "ADC start" та заборонить видачу тактових імпульсів після сигналу від АЦП "Conversion complete".

10. LPT порт комп'ютера

Однонаправлений (тільки для введення і тільки для виведення) паралельний порт ПК використовується для передачі сигналів перетворення в цифрову форму і контролю за ходом експерименту. Ре-

гістр даних не використовується, використовуються тільки реєстри статусу і контролю.

11. Формувач імпульсу запуску лазеру

Контролер дозволяє формування імпульсу з тривалістю $t = 3$ мкс одним одновібратором [5] в двадцятому кроці циклу. Сформований імпульс рівня ТТЛ підсилюється до рівня 40 В і подається до схеми зовнішньої синхронізації лазеру.

Висновки. Запропонований метод дозволяє визначити індивідуальні смуги спектрів фотолюмінесценції. Ці смуги завдяки перекриттю формують експериментальний спектр фотолюмінесценції об'єктів дослідження. Чутливість методу дозволяє виявити індивідуальні смуги, пов'язані з домішками, концентрація яких має порядок 10^{-3} г/г та менше.

ЛІТЕРАТУРА

1. Ушаков Ю. В. Авторское свидетельство № 996921 от 15.02.83.
2. Буланый М.Ф., Полежаев Б.А., Прокофьев Т.А., Черненко И.М. Спектры возбуждения и структура центров люминесценции ионов марганца в монокристаллах сульфида цинка. // ЖПС. - 2000. - Т. 67. - № 2. - С. 208-210.
3. Буланый М. Ф., Полежаев Б. А., Прокофьев Т. А. О природе марганцевых центров свечения в монокристаллах сульфида цинка. // ФТП. -1998. - Т. 32. - № 6. - С. 673-675.
4. <http://www.ti.com/lit/ds/symlink/cd4066b.pdf>
5. <http://www.ti.com/lit/ds/symlink/sn74123.pdf>
6. <https://datasheets.maximintegrated.com/en/ds/ICL7106-ICL7107.pdf>
7. <http://www.giricond.ru/pages/k73-11.pdf>
8. <http://www.ti.com/lit/ds/symlink/sn7490a.pdf>
9. <http://pdf.datasheetbank.com/pdf/Philips/147826.pdf>

N.V. Karpenko, L.Y. Martynovych

THE FEATURES OF PROGRAMMING TEACHING AT THE UNIVERSITY

Abstract. The assimilation of programming by the students of Dnipropetrovsk National University (majoring in Computer Engineering) was analyzed. The basic problems that the students face in programming were defined. The correlation coefficient of success in students training in various disciplines was compared.

Keywords: programming teaching, solving tasks, successful training and the coefficient of correlation.

Introduction. The national market of information technologies is under active development in the XXI century. In particular, the level of computerization, Internet expansion rates, and the export of Ukrainian software products were increasing [1].

According to research of Ukraine Digital News and Fund of AVentures Capital the total number of programmers in Ukrainian IT market is 90 thousand people. Analysts are forecasting the growth of the number of programmers and software professionals up to 200 thousand persons by 2020. Today the demand for software developers in Ukraine is more than supply [2]. However, Ukrainian specialists must be competitive in the labor market in developed countries. Thus, the important role of the university is to improve the quality of training of the IT specialists.

The aim of this work is to analyze mastering the basics of programming and determine the main problems the students face during their training.

Literature review. IT-specialist often solves tasks based on analysis and mathematical concepts. Therefore, this specialist must have a basic level of mathematical training. The programmer also should have algorithmic thinking. However, the most of publications dedicated to the discussion on choices of a programming language, avoiding the aspects of teaching [3]. In this regard, the "Cone of Experience" proposed

by Edgar Dale [4-5] seems very interesting and useful (Fig. 1). During the 1960s, Edgar Dale assumed that learners retain more information by what they “do” as opposed to what they “heard”, “read” or “observed”. Today this “learning by doing” has become known as “experiential learning” or “action learning”.

In other words, the lower the level of abstraction of material to be learned, the more effective results will be achieved.

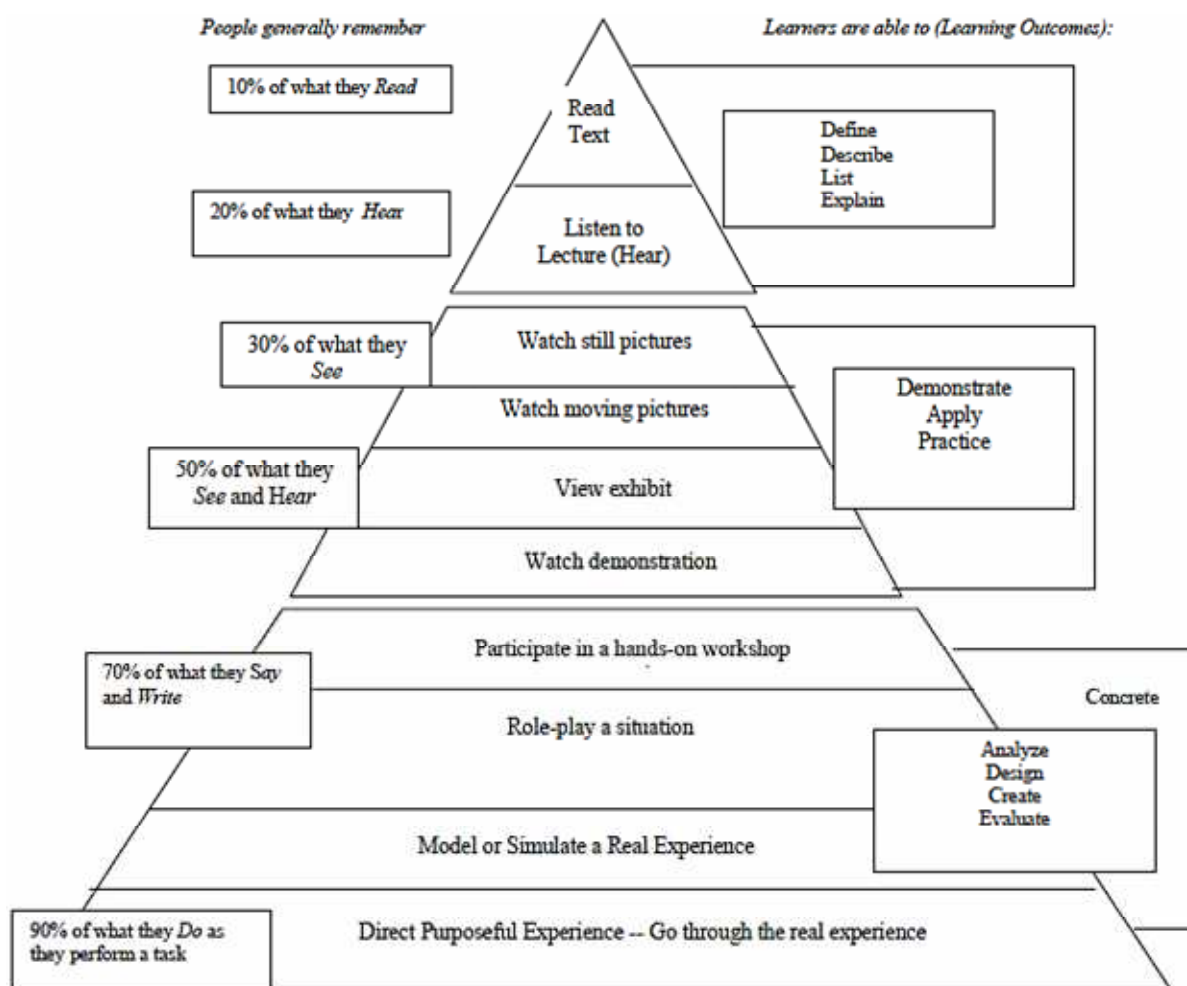


Figure 1 – Cone of experience offered by Edgar Dale [5]

Main part. After analyzing the data presented at <http://www.vstup.info>, we can generally understand the abilities of future students. For example, we can see the score of UPE and the school certificate score etc. However, it does not give us information on their abilities of logical thinking, i.e. abilities to recognize analogies and generalize the data, abilities of reasoning and proof?

Each year during the practice in programming we face the fact that students don't see and cannot keep track of regularity in solving

tasks. So, the teacher must find tasks for the development of these skills. For example, the students must propose the solution for finding the proper ending of word (Tab. 1). Consequently, they should track natural numbers that give different endings of the word (машин_, машина, машини).

Table 1

Determining the regularities in occurrence of certain endings of words

The word The regularity	«машин_»	«машина»	«машини»
The natural numbers leading to appropriate ending of word	0, 5,6,7,8,9	1	2, 3, 4
An exception	11, 12,13, 14		

Thus, the condition for solving the problem about the number of cars will take the following form:

```

remain=car%10;
if(remain==1 && car!=11)
    printf("%d машина\n",car);
else if (remain ==2 || remain==3 || remain==4 && car!=12 &&
        car!=13 && car!=14)
    printf("%d машини\n",car);
else printf("%d машин\n",car);

```

Another problem that is difficult for students is to *determine the minimum time that passes before the hour and minute hands become perpendicular to each other*. The students must remember that full circle covers 360° . Then the phrase “the hour and minute hands are perpendicular to each other” should be written as the difference in absolute

values (modulus): $|\phi_{\text{hour}} - \phi_{\text{minute}}| = 90^\circ$, where $\phi_{\text{minute}} = \frac{360^\circ}{60} \cdot m$ and

$\phi_{\text{hour}} = \frac{360^\circ}{12} \cdot h + \frac{360^\circ}{12 \cdot 60} \cdot m$; h – number of hours, m – number of minutes

($0 \leq h \leq 11$; $0 \leq m \leq 59$).

The major problem of first-year students is inability to work independently when they learn subjects beyond the tutorial, to acquire optional theoretical knowledge and practical skills systematically. They try to study the subject just before the exam. But it does not work for the subjects that require practical experience.

Analyzing GPA school certificate, we have an idea to compare the overall level of students training depending on entering year (Fig. 2, a).

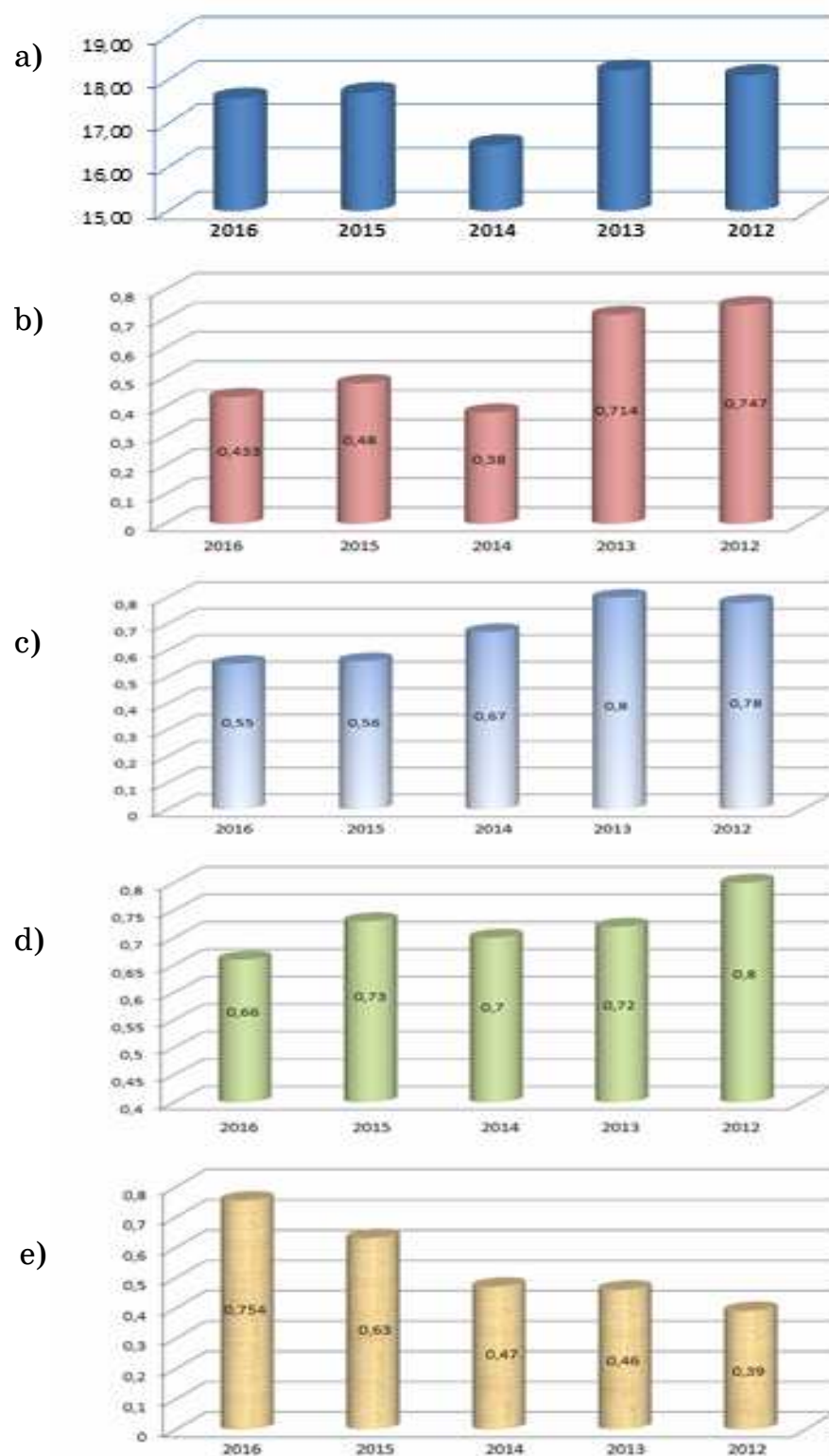


Figure 2 – Comparison of the successfulness in training students of different grade levels, the average mark of school certificate (a) as well as the correlation between the average school mark and average midyear examinations mark (b) for the following disciplines:
 "Mathematics - Programming" (c); "Physics-Programming" (d);
 «Web-design Programming" (e)

We can track the correlation between the average mark of the school certificate and the average mark that student receives during the first midyear examinations (Fig. 2, b).

The correlation between these indices could be determined for 2012-2013, but since 2013 we haven't determined a sustainable relation. A comparison shows the coefficients of correlation between the different disciplines delivered to the students during the first semester (Fig. 2, c-e). The relationship between the *Higher Mathematics* and *Programming* subjects is shown in Fig. 2, c. This coefficient of correlation has been decreasing during last three years. It happened because the students think of *Higher Mathematics* as of an abstraction far from satisfying the real-life needs, and therefore they are incapable to apply the knowledge and skills acquired to solve the programming problems.

The histogram (Fig. 2,d) shows a good correlation between the *Physics* and *Programming* subjects. The close relationship between these disciplines can be explained by the fact that students study the various natural phenomena experimentally. It develops the skills in analysis and synthesis. The students get a useful experience. It values highly for learning programming.

The histogram (Fig. 2,e) shows the distribution of correlation coefficients between the *Web-design* and *Programming* disciplines. In the last two years, the similarity of the students' marks is observed. This result may be explained by the fact that the first-year students (2015-2016 years) are more creative than the senior students. Therefore, it would be a good practice to consider students' abilities in planning the annual workload. The planning should be flexible. For example, the number of disciplines associated with individual workload and creativity (visual programming, web-design etc.) should be increased for practical-result oriented creative students. But the curriculum should not be the same for analytically thinking person able to achieve the best results in system modeling and engineering, quality assurance etc.

Conclusions. The starting point for the software specialist's education is testing and, depending on the testing results, development of their analytical capabilities. It can be achieved by reducing the high-level abstraction material quota and increasing the number of practical lessons in the discipline.

REFERENCES

1. Exploring Ukraine. IT Outsourcing Industry 2012 [Electronic resource]. – Access mode : <http://hi-tech.org.ua/wp-content/uploads/2012/08/>
2. Exploring-Ukraine-IT-Outsourcing-Industry-20121.pdf.
3. Шадий О. Рынок информационных технологий в 2016 году: путь через тернии [Electronic resource]. – Access mode : <http://racurs.ua/1070-rynok-informacionnyh-tehnologiy-v-2016-godu-put-cherez-ternii>.
4. Овчаров С. А. Особенности преподавания программирования бакалаврам бизнес-информатики. /Известия Волгоградского государственного технического университета. – 2013. – №16 (119). – Т. 14. – с. 94-95.
5. Как эффективно учиться? [Electronic resource]. – Access mode : <http://www.insai.ru/statya/kak-effektivno-uchitsya>.
6. Dale, Edgar. Audio-Visual Methods in Teaching, 3rd ed., Holt, Rinehart & Winston, New York, 1969, p. 108.

D.P. Sivtsov, V.S. Khandetsky

**USING THE NEGATIVE IMPEDANCE CONVERTER IN
DEVICE FOR QUALITY TESTING OF LASER WELDING**

Annotation. The paper presents a method for increasing the sensitivity of the eddycurrent probe for testing of defects of laser welding and a means for this method implementation. It was practically applied in measurement device for monitoring of quality of laser welding in supercapacitors. For this purpose the eddy-current probe was connected to the negative resistance converter (NRC) which was especially designed on the base of the LC-oscillator.

Keywords: eddy current probe, laser welding, supercapacitor, negative impedance converter.

Introduction. Currently exist the mass production of a wide range of supercapacitors for use in transport, for power backup of computer systems, for improving the stability of solar power systems and other purposes [1,2].

The main part of the supercapacitor is the charge-storing device (CSD). In cylindrical supercapacitors, it designed as roll of aluminum strips of anode and cathode electrodes, covered on one side by porous material, for example, graphene [2]. Between the electrodes in the roll is a strip of separator made of dielectric material. The longitudinal section of the roll, as well as its fragment, showing the alternation order of layers in enlarged form, are schematically shown in Fig. 1.

The edges of the positive and negative electrode strips are shaping in a certain way before laser welding with positive and negative collectors respectively. These collectors use as terminals of the CSD. The design of a typical cylindrical supercapacitor has shown in Fig 2.

Objective of the work. The high discharge currents of supercapacitors require good ohmic contact of the electrodes with its collectors, so their laser welding should be of high quality.

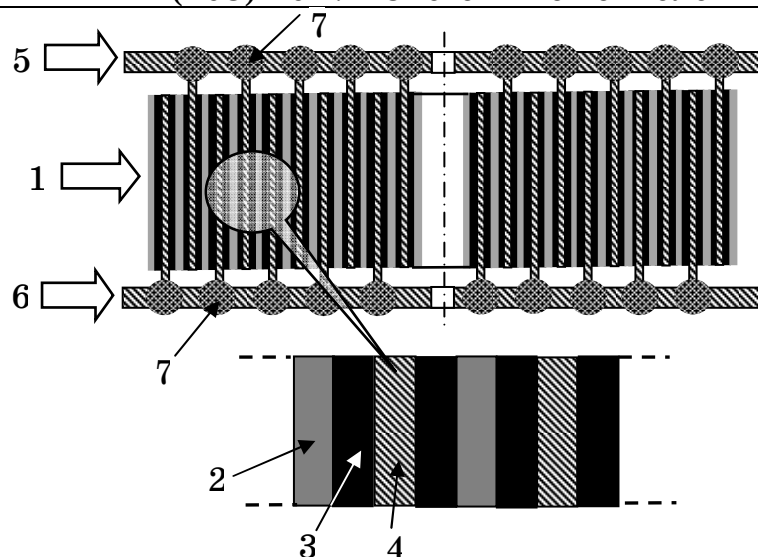


Figure 1 – Charge-storing device (CSD): 1 – roll; 2 – strip of dielectric separator; 3 - layer of porous material; 4 - strip of aluminum foil (anode or cathode electrode); 5 - cathode collector; 6 - anode collector; 7 - welding joint (places of welding)

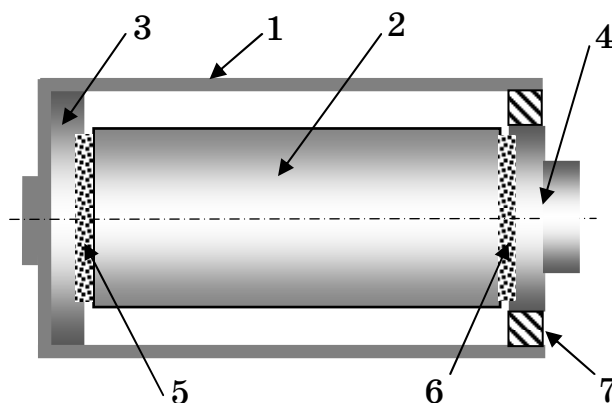


Figure 2 – The supercapacitor and its components: 1– aluminum cylindrical case; 2 – roll of the charge storing device (CSD); 3 – anode collector galvanically connected to the case; 4 – cathode collector; 5,6 – place of welding the anode and cathode collectors with electrodes of the CSD; 7 – insulating ring

Obviously, the quality of welding we can check only after the collectors already welded to the roll of CSD, so only non-destructive method we can use to evaluate this quality.

Thus, the objective of this work was to select an effective method of testing and develop corresponding means required for its implementa-

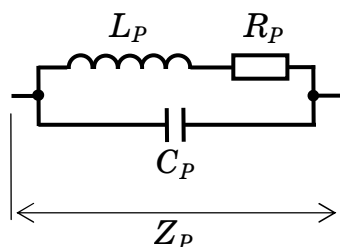
tion in the device for evaluating quality of laser welding in supercapacitors.

Testing method. Laser welding is performed in several places on the surface of collector. In our case they shape was as circular sectors (total 6 sectors on collector). It means that the welding seam is going along the perimeter of the sector. The welding quality first of all depends on number and size of defects from the side of collector witch is reverse towards to side of action the laser beam. Consequently, the welding defects must be detected not only in thickness of the collector material but mainly from its bottom side where collector is welded with foil of the electrodes. Considering that the collectors and electrodes are made of non-magnetic metal - aluminum, was selected the eddy-current method of weld testing. Its effectiveness in the context of the described here objectives is confirmed of the practical investigations and results of other authors [3-5].

Implementation method. To implement the method it is necessary that the induced eddy currents could to penetrate through the weld on the bottom of the collector towards the foil of electrodes, i.e. in a direction perpendicular to the plane of the collector. This is possible when working on the tangential component of the vortex magnetic field. To create the necessary configuration of the field in the welded joint zone, we used a parametric eddy current probe with a U-shaped ferrite core. On the core spooled a three-section coil, which consist of $300 + 300 + 300 = 900$ turns of a copper wire with a diameter of 0.02 mm. Cores of the desired shape and size for the anode and cathode collectors were cut from the EPCOS ferrite cores of the EF series with $\mu \cong 1700$.

The electrical model of the eddy-current probe and its impedance Z_S are shown in Fig. 3.

Investigations of the designed probes have shown that coil's capacitance C_P has a significant influence on the impedance Z_P beginning from frequencies the order of 1 MHz and higher. In our case, to ensure a significant depth of penetration of the probe field into the collector metal (aluminum), we worked at a frequency $f = 1.5$ kHz. At this frequency, the influence of C_P can be ignored.



a

$$Z_P = \operatorname{Re}(Z_P) + j\operatorname{Im}(Z_P),$$

$$\operatorname{Re}(Z) = R_P/D,$$

$$\operatorname{Im}(Z_P) = [\omega L_P - \omega C_P R_P^2 - \omega^3 L_P C_P^2]/D,$$

$$D = [1 + (\omega C_P R_P)^2 + \omega^2 (\omega L_P C_P)^2 - 2\omega^2 L_P C_P]$$

б

Figure 3 – Electrical model of the probe and its impedance Z_P . a) the electrical model. b) impedance, where: R_P and L_P – the ohmic resistance of the wire and the inductance of the coil, respectively;

C_P – capacitance of the coil

If the welded joint of the collector with the foil of roll is completely absent, the quality of welding is estimated as 0% – "DEFECT"; if the welding is fully matched to the standard, the quality of welding is estimated as 100% – "NORMAL". In general case the impedance of the probe will be:

$$Z_X = j2\pi \cdot f \cdot (L_P + L_X) + (R_P + R_X), \quad L_X \in [L_0, L_{100}], \quad R_X \in [R_0, R_{100}], \quad (1)$$

where L_X and R_X – is an inductance and resistance that were added to the impedance of the probe in the result of interaction the probe field with tested welding seam.

It was experimentally established that at the working frequency the introduced inductive constituent of the probe impedance practically does not change depending on the quality of the welding, i.e.:

$$(L_P + L_X) \approx L_P$$

Therefore, value of the inductive constituent is not an informative parameter of the welding quality.

On the other hand, the total ohmic resistance of the probe $R_{SUM} = R_P + R_X$ depends on the quality of the welded joint. Since the testing process is carried out at the practically constant frequency, the value of the ohmic resistance of the coil R_P can be regarded as a constant. Therefore, as informative parameter for estimation welding quality we can use only R_X .

Finally, the electrical model of the probe (1) can be simplified and presented as:

$$Z_X = j2\pi \cdot f \cdot L_P + (R_P + R_X) = j2\pi \cdot f \cdot L_P + R_{SUM}. \quad (2)$$

For reception of the information concerning result of welding quality estimation, we used the resonant method. The required resonant circuit is realized by parallel connection of the sensor with additional capacitors. We selected the parallel circuit because one terminal of the probe and one terminal of each additional capacitor can be grounded. It increases the noise immunity of measurement results.

Obviously that sensitivity of the sensor concerning to the welding defects depends on the ratio of the value R_P and R_X . The resistance R_P for the anode and cathode sensors is slightly different and equal to an average of 60 ohms. Experiments have shown that such an R_P value does not allow obtaining the required sensitivity. In order to increase the sensitivity, a negative resistance R_{NEG} is introduced into the resonant circuit. This reduces the R_P what increases the Q -factor of the resonant circuit. To introduce R_{NEG} , the negative resistance converter (NRC) was used.

As well known, all NRC's contain a circuit of positive feedback. Considering the features of the resonance method of measurement, the NRC using the circuit of sine wave oscillator based on Op-amp [6] was designed. It is important that In this case the NRC circuit and the resonant circuit including the probe **P** be as single unit (Fig. 4).

The main components of NRC that determine its functionality are such: a non-inverting operational amplifier (OA) **DA1**; the adjustable negative feedback (resistive divider **R1***, **R2**, **R3***); the positive feedback that consist of resistor **R4** and the resonance circuit (probe **P** and capacitors **C1***, **C2***, **C3***).

The other components perform the service functions of the buffer repeater (**C5**, **R5**, OA **DA2**) and the scaling amplifier (**R6**, **R7**, OA **DA3**). Schemes of NRC for anodic and cathodic probes are identical. They differ only by the capacitances of additional capacitors **C1***, **C2***, **C3***.

The behavior of the NRC is determined by the loop gain between the output of the OA **DA1** and its non-inverting input. The gain factor OA **DA1**:

$$K_A = \frac{1 + (R1 + \alpha R2)}{R1* + (1 - \alpha) \cdot R2 + R3*}, \quad 0 \leq \alpha \leq 1 \quad (3)$$

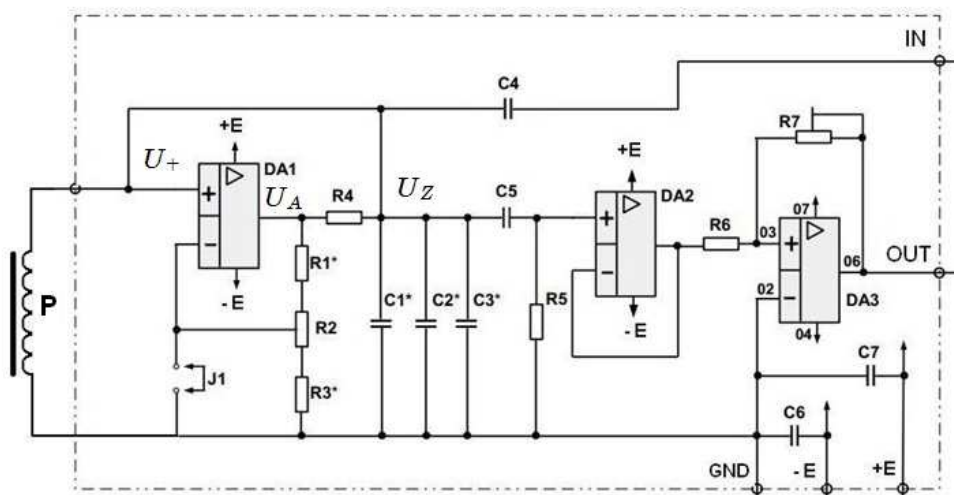


Figure 4 – Negative resistance converter

The voltage at the output of the OA **DA1** is equal to:

$$U_A = K_A \cdot U_+,$$

where: U_+ – voltage on the non-inverting input of the OA **DA1**.

This voltage is input to the positive feedback circuit, so the output voltage at ZK is equal to:

$$U_Z = U_A \cdot \frac{Z_K}{R_4 + Z_K} = K_A \cdot U_+ \cdot \frac{Z_K}{R_4 + Z_K}. \quad (4)$$

Taking into account (2) we have:

$$Z_K = \frac{-j(2\pi f L_P + R_{SUM})}{-j + 4j\pi^2 f^2 C_{SUM} L_P + 2\pi f C_{SUM} R_{SUM}}$$

– impedance of a resonant circuit; $C_{SUM} = C1^* + C2^* + C3^*$.

Since $U_Z = U_+$ (see Fig. 4), the state of the NRC is determined by the behavior of the complex transmission coefficient $\underline{K}$:

$$\underline{K} = \frac{K_A \cdot Z_K}{R_4 + Z_K}. \quad (5)$$

In the expanded form:

$$\underline{K} = \frac{K_A (j \cdot 2\pi f L_P + R_{SUM})}{R_4 \cdot (1 - 4\pi^2 f^2 C_{SUM} L_P + j \cdot 2\pi f C_{SUM} R_{SUM}) + j \cdot 2\pi f L_P + R_{SUM}}. \quad (6)$$

Herewith:

$$\Phi(f) = \arg \underline{K}(j2\pi f)$$

– phase frequency characteristic of $\underline{K}$ (PFC) and

$$A(f) = |\underline{K}(j2\pi f)|$$

– amplitude frequency characteristic of $\underline{K}$ (AFC).

If at some frequency $f = F_{GEN}$

$$\Phi(F_{GEN}) = 0 \quad \text{и} \quad A(F_{GEN}) = 1,$$

NRC goes into self-excitation mode and it generates sinusoidal oscillations with a frequency of F_{GEN} . This corresponds to a full compensation of losses in the probe: $R_{SUM}=0$, because $R_P+R_X=|R_{NEG}|$.

The working mode of NRC is the regime of partial loss compensation. In this mode, due to the negative resistance R_{NEG} , which is created by NRC, the losses R_P of the probe are reduced to the value providing the necessary sensitivity for R_X . Consequently, we can write that

$$R_{SUM} = R_P + R_X - R_{NEG}.$$

The control of the R_{NEG} value is achieved by adjusting the gain K_A of the amplifier **DA1**.

To determine the dependence of the absolute value of R_{NEG} from K_A , we simplify R_{SUM} from (2), for what we delete temporarily from consideration of R_X , so that $R_{SUM} = R_P - R_{NEG}$. For clarity of definition of this dependence, we accept:

$$R_P = 5.1 \text{ kOhm}; L_P = 24 \text{ mH}; C_{SUM} = 0.42 \text{ }\mu\text{F}. \quad (7)$$

Assume that $R_{SUM} = 40 \text{ Ohm}$. The solution of the system of equations $\{\Phi(f) = 0, A(f) = 1\}$ with respect to f and K_A gives: $f = F_{GEN} = 1562.87 \text{ Hz}$, $K_A = 4.5699$.

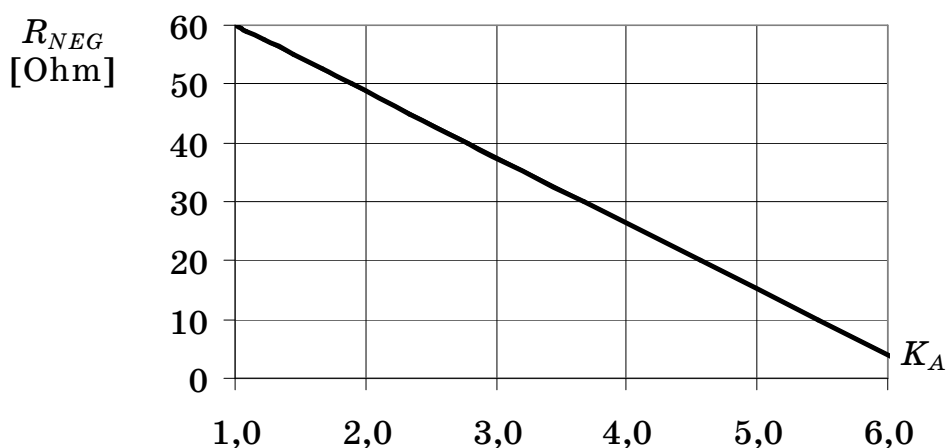
Now assume that $R_{SUM} = 60 \text{ Ohm}$. In this case: $f = F_{GEN} = 1534.47 \text{ Hz}$, $K_A = 6.3549$.

Therefore, increasing the gain K_A of the OA **DA1** from 4.5699 to 6.3549 and $R_{SUM} = 60 \text{ Ohms}$ is equivalent to reducing the R_{SUM} from 60 Ohms to 40 Ohms = 20 Ohms. On the other hand, it is equivalent to the fact that negative resistance R_{NEG} increased from 0 to 20 Ohms.

The calculated dependence of the negative resistance R_{NEG} on the gain K_A for the same values of the quantities (7) for R_{SUM} from 1 to 60 Ohm, we show in Table 1 and in Fig. 5.

Dependence of R_{NEG} and R_{SUM} on the gain factor K_A

F_{GEN} [Hz]	K_A	R_{NEG} [Ohm]	R_{SUM} [Ohm]
1534.47	6.3550	0.00	60.00
1550.16	5.4625	10.00	50.00
1562.87	4.5700	20.00	40.00
1572.69	3.6775	30.00	30.00
1579.66	2.7850	40.00	20.00
1582.10	2.3388	45.00	15.00
1583.83	1.8925	50.00	10.00
1584.44	1.6694	52.50	7.50
1584.87	1.4462	55.00	5.00
1585.13	1.2231	57.50	2.50
1585.21	1.0892	59.00	1.00

Figure 5 – Dependence of the negative resistance R_{NEG} on the gain K_A .

$$R_{NEG} = 71,204 - 11,204 \cdot K_A$$

The dependence of R_{NEG} (K_A) was obtained under the following simplifying assumptions:

- OA **DA1** is an ideal operational amplifier;
- The influence of the connecting circuit **C5**, **R5** on the impedance Z_K of the resonant circuit is not taken into account (in the practical scheme **R5** = 2.2 MOhm).

In view of the above, the Q-factor of the probe Q_{PX} , whose field interacts with the welding joint, also depends on R_{NEG} . Taking into account the model (2) and R_{NEG} , the Q-factor of the probe Q_{PX} is defined as:

$$Q_{PX} = \frac{2\pi \cdot f \cdot L_P}{R_P - R_{NEG} + R_X} \cdot \quad (8)$$

Since the value of L_P is practically independent from the quality of the welded seam, a numerical estimate of the informative parameter R_X can be obtained by measuring the quality factor Q_{PX} . For this purpose, the input **IN** of the NRC circuit is connected to a sinusoidal voltage source with a linearly varying frequency. In order to determine the numerical value of Q_{PX} , we used the usual method of three points of the resonant curve $A(f)$.

Conclusions. Partial compensation of active losses in parametric probes for eddy current testing is a promising method of increasing its sensitivity to defects of laser welding of supercapacitor collectors and electrodes. The developed NRC scheme has provided good sensitivity and stability at increasing Q-factor of the probes from $Q_{PX} \approx 3$ to $Q_{PX} \approx 80$.

ЛИТЕРАТУРА

1. Halper M.S., Ellenbogen J.C. Supercapacitors: A Brief Overview [Интернет - ресурс]. Режим доступа: https://www.mitre.org/sites/default/files/pdf/06_0667.pdf
2. High-performance energy storage solutions based on breakthrough graphene material [Интернет - ресурс]. Режим доступа: <http://www.skeletontech.com/ultracapacitor-technology>
3. Воробьев А.О., Болотов С.В. Контроль качества контактной точечной сварки с помощью накладного вихретокового преобразователя [Интернет - ресурс]. Режим доступа: <http://www.bru.mogilev.by>
4. Zosch A., Seidel M. Non destructive testing of laser welded lap seams by eddy current technique [Интернет - ресурс]. Режим доступа: <http://www.ndt.net/article/ecndt2006/doc/P99.pdf>
5. Todorov E., Nagy B., Levesque S., Ames N., Na J. Inspection of laser welds with array eddy current technique <https://ewi.org/eto/wp-content/uploads/2016/11/1065-LaserWeldNDE-AEC.pdf>
6. Титце У. Полупроводниковая схемотехника: Справочное руководство [Текст]/ Титце У., Шенк К. – М.: Мир, 1982. – 512 с.

В.Я. Данилов, В.Я. Данілов, І.О. Краснощок

**ЗАСТОСУВАННЯ ЗГОРТКОВИХ НЕЙРОННИХ МЕРЕЖ
ДЛЯ РОЗПІЗНАВАННЯ ЗОБРАЖЕНЬ ВИБІРКИ CIFAR-10**

Анотація. Задача розпізнавання зображень за допомогою комп'ютера надзвичайно складна, оскільки зображення може знаходитися під різними кутами, мати різну освітленість, може містити неповне зображення об'єкта, а також зображення об'єкту може мати різний фон. Правильно спроектований алгоритм для розпізнавання об'єктів зображень дозволяє точно розпізнавати та класифікувати об'єкти за класами.

Головна мета дослідження: розробка архітектури згорткової нейронної мережі для розпізнавання зображень за наступними класами: літак, автомобіль, пташка, кішка, олень, собака, жаба, кінь, човен, вантажівка.

Об'єктом дослідження є елементи вибірки CIFAR-10.

Предметом дослідження є згорткові нейронні мережі, їх використання та реалізація для задачі розпізнавання.

Основні результати дослідження: запропонована архітектура спеціалізованої згорткової нейронної мережі для розпізнавання об'єктів вказаних класів; отримано нейронну мережу з заданою архітектурою з рівнем точності 95.6%; проведено порівняльний аналіз даного методу з іншими методами розпізнавання.

Ключові слова: Згорткова нейронна мережа, розпізнавання об'єктів зображення, класифікація об'єктів, CIFAR-10.

Вступ. На сьогоднішній день для обробки візуальної інформації застосовують системи комп'ютерного бачення, в яких основною задачею є розпізнавання образів.

Виявлення об'єктів вважається найголовнішим завданням комп'ютерного зору. Однією з задач комп'ютерного зору є розпізнавання об'єктів або класифікація об'єктів, коли один чи декілька попередньо заданих чи вивчених об'єктів або класів об'єктів можуть бути розпізнані, зазвичай разом з їх двовимірним положенням на зображенні чи тривимірним положенням в сцені [1].

Основні проблеми розпізнавання: один і той самий об'єкт знаходиться під різним кутом на зображенні, має різну яскравість;

об'єкт може бути неповністю зображеним або бути зачумленим фоном на задньому плані зображення [2]. Розв'язати вказані проблеми дозволяють згорткові нейронні мережі.

В комп'ютерному баченні згорткові нейронні мережі – це новітній метод розпізнавання, який набуває широкої популярності [3].

Архітектура згорткової нейронної мережі

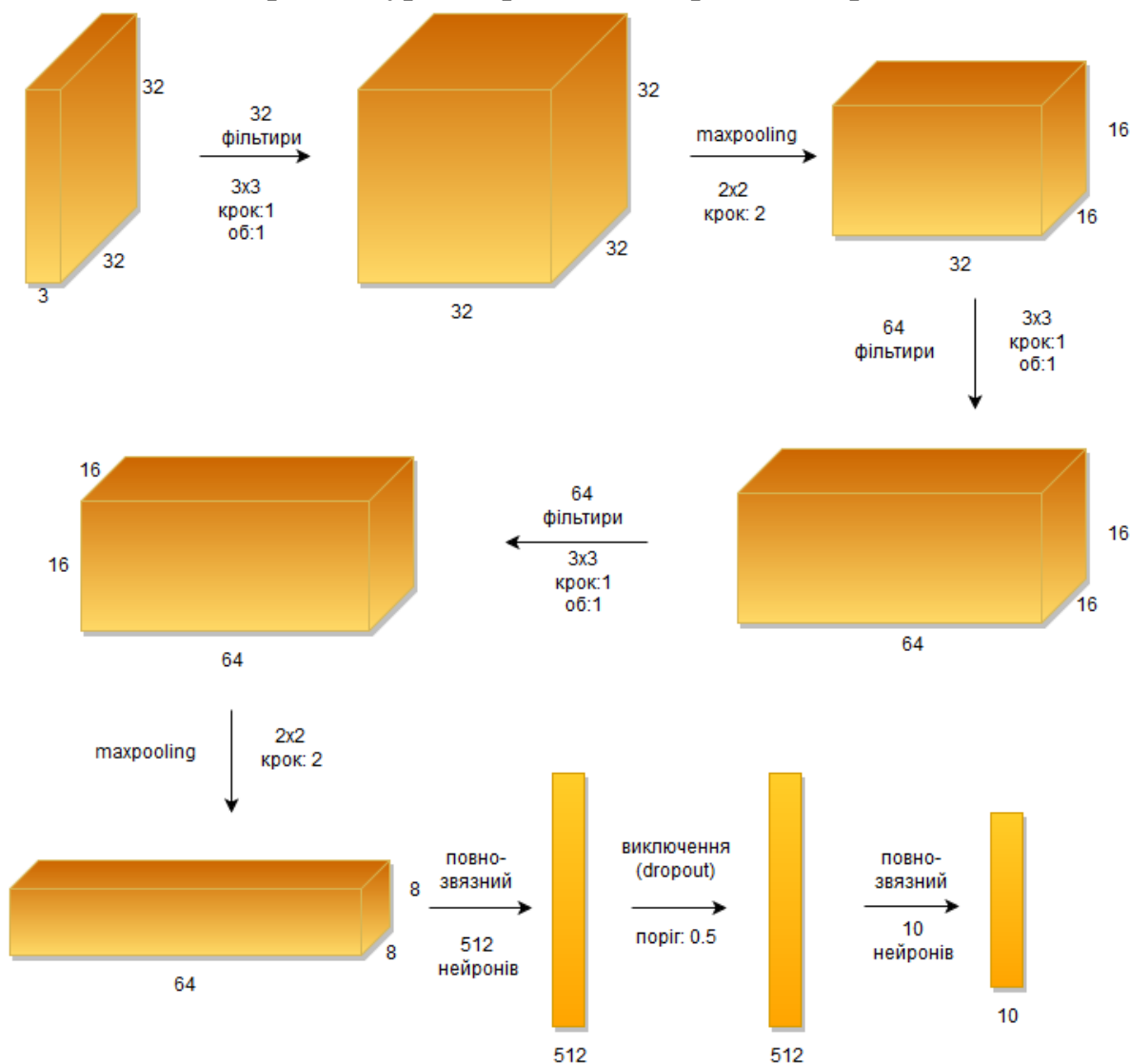


Рисунок 1 – Архітектура ЗНМ

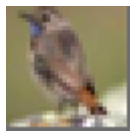
Згорткова нейронна мережа – це нейронна мережа, яка містить три основні типи неронних шарів: згортковий, підвибірковий та повнозв'язний [3 - 4].

Візуалізація застосованої архітектури розгорткової нейронної мережі наведено на рис. 1.

Було застосовано наступний метод попередньої обробки даних: поворот на кут $\left[-\frac{\pi}{4}; \frac{\pi}{4}\right]$. Також було використано метод попередньої обробки зображення: центрування відносно нуля, нормалізація даних (дисперсія = 1).

Мережева візуалізація

Вхідне зображення (класу пташка):



Скалярний добуток перших 8 фільтрів і зображення (1 згортковий шар):



Застосування функції активації (ReLU):



Зменшення розмірності зображення (1 підвибірковий шар):



Останній згортковий шар:



Останній шар (ймовірність того, що об'єкт даного класу на зображенні):

■ ■ ■ ■ ■ ■ ■ ■ Всього 10 класів.

Результати навчання

Дана нейронна мережа з високим ступенем точності розпізнає об'єкти вибірки CIFAR-10 [5].

Точність роботи мережі становить 95,6%, що є дуже високим показником розпізнавання [6].

Графік точності наведено на рис. 2.

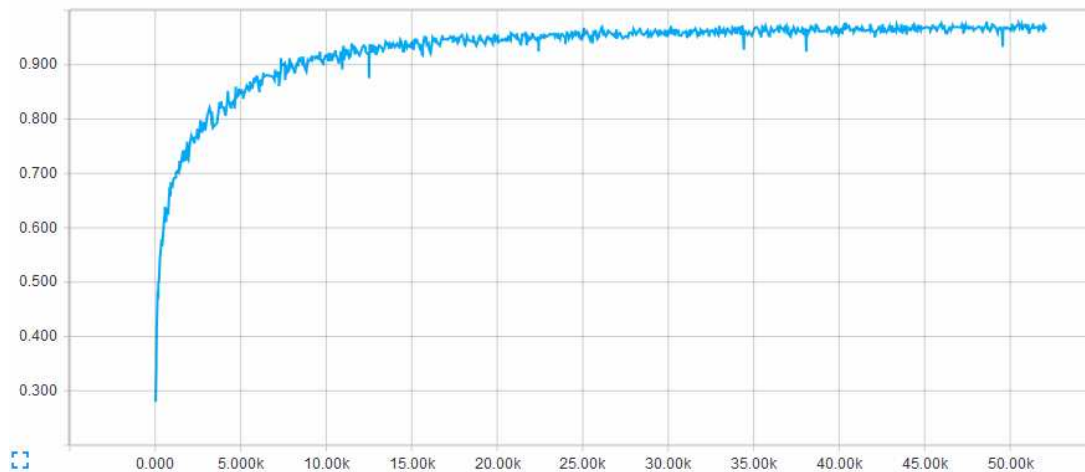


Рисунок 2 – Точність роботи мережі

Значення функції втрат становить на останній епосі навчання 0.13. Графік функції втрат зображено на рис. 3.

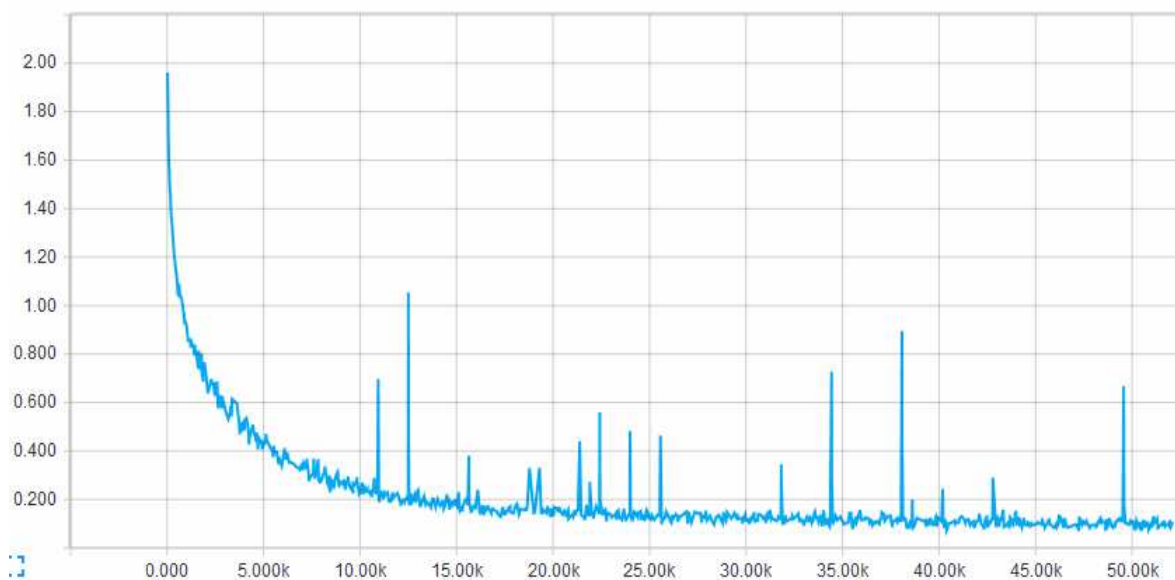


Рисунок 3– Значення функції втрат

Порівняння з іншими методами розпізнавання.

Таблиця 1

Порівняння методів розпізнавання на вибірці CIFAR-10

Метод розпізнавання	Кількість епох (навч.)	Точність(%)
Лінійний класифікатор	100	34.3
7-NN класифікатор	50	38.6
Згортова нейронна мережа	100	95.6

Проведено порівняння з двома традиційними методами розпізнавання: лінійний класифікатор і k-NN класифікатор [2]. В таблиці 1 наведено результати розпізнавання. Точність розпізнавання згортковою нейронною мережею суттєво точніше, ніж двома традиційними методами.

Висновок

В дослідженні спроектовано згорткову нейронну мережу навченою на зображеннях вибірки CIFAR-10, яка розпізнає об'єкти з високим рівнем точності (95.6%). Таким чином даний метод розпізнавання суттєво кращий, ніж традиційні методи розпізнавання: лінійний класифікатор і k-NN класифікатор.

ЛІТЕРАТУРА

1. Christopher M. Bishop. Pattern recognition a machine learning / Christopher Michael Bishop. – New York : Springer Science, 2006. – 738 pp.
2. Deep Learning for Computer Vision–Introduction to Convolution Neural Networks [Електронний ресурс]. – Режим доступу:
<http://www.analyticsvidhya.com/blog/2016/04/deep-learning-computer-vision-introduction-convolution-neural-networks/>
3. Kevin P. Murphy. Machine learning: a probabilistic perspective / Kevin P. Murphy. – London : MIT Press, 2012. – 1067 pp.
4. Matthew D. Zeiler. Visualizing and Understanding Convolutional Neural Networks / Matthew D. Zeiler, R. Fergus // ECCV 2014. – 2014 [Електронний ресурс]. – Режим доступу:
<https://arxiv.org/abs/1311.2901>.
5. Cifar - 10 dataset [Електронний ресурс]. – Режим доступу:
<https://www.cs.toronto.edu/~kriz/cifar.html>
6. CIFAR - 10 – Object Recognition in Images – KAGGLE [Електронний ресурс]. – Режим доступу:
<https://www.kaggle.com/c/cifar-10/leaderboard>

СОДЕРЖАНИЕ

Адоньев С.О., Верещага В.М. Визначення та аналіз параболічної поверхні балюби (БПП)	3
Ахметшина Л.Г., Егоров А.А., Ахметшин К.А. Сегментация слабоконтрастных изображений на основе преобразования нечеткой функции принадлежности	12
Бердник М.Г. Математичне моделювання узагальненої крайової задачі Неймана теплообміну порожнього кусково-однорідного циліндра	20
Ivon A.I., Ivon Y.A., Lavrov R.I. Software for determining linear resistance limiting the barrier current in varistor materials	29
Ivon A.I., Istushkin V.F. Digitization of oscillograms by raster images for rising of accuracy at signal parameters determination.....	37
Ковальов Д.К., Вовк С.М. Комп'ютерна система для зчитування друкованого тексту та його коригування	41
Крохин В.В. Исследование устойчивости методов выбора оптимальной модели множественной линейной регрессии в случае, когда независимые переменные являются квазилинейными.....	46
Litvinov A.A. On a frame-based language used for software modeling	55
Litvinov A.A. On formalization of integrative computer-aided language learning system scenario	63
Матвеева Н.О., Лазоренко Ю.В. Розпізнавання візуальних образів сигналів за допомогою нейронної мережі.....	71
Pashchenko V.O. The theoretical basis of the informational technology of nonstationary electromagnetic testing for orthotropic dissipative composites	80
Пономарев И.В., Чухало А.Р.	86
Особенности разработки сайта с помощью Asp.net MVC Framework .	86
Прокопчук О.М., Вовк С.М. Комп'ютерна система стереозору для візуального визначення відстаней до об'єктів.....	91

Спірінцев В.В., Кушка А.А. Фреймворк на базі мови програмування Scala для створення restful web-сервісів	96
Спірінцев Д.В., Найдис А.В. Методи геометричного моделювання та візуалізації цифрової моделі рельєфу	102
Spirintseva O.V. Factor analysis for multispectral raster images processing	110
Стародубцев О.Л. Дослідження нейронних мереж для ідентифікації сигналів вихорострумової дефектоскопії.....	115
Твердоступ Н.И. Анализ F-метра с управляемой чувствительностью к приращению реактанса индуктивного датчика	123
Тонкошкур О.С., Повзло Є.Л. Алгоритм обробки даних кінетики відгуку резистивного газового сенсору на основі моделі розтягнутої експоненціальної функції	129
Хандецький В.С. Оптимізація топології ядра комп'ютерної мережі OSPF на основі неявного балансування навантаження.....	135
Морозов О.С., Коваленко О.В., Буланій М.Ф. Автоматизована експериментальна установка для дослідження кінетики фотолюмінесценції при імпульсному збудженні.....	142
Karpenko N.V., Martynovych L.Y. The features of programming teaching at the university	152
Sivtsov D.P., Khandetsky V.S. Using the negative impedance converter in device for quality testing of laser welding	158
Данилов В.Я., Данілов В.Я., Краснощок І.О. Застосування згорткових нейронних мереж для розпізнавання зображень вибірки CIFAR-10	167

УДК 514.18

Адоньев Є.О., Верещага В.М. **Визначення та аналіз параболічної поверхні Балюби (БПП)** // Системные технологии. Региональный межвузовский сборник научных работ. - Выпуск 1 (108). - Днепр, 2017. - С.3 - 11.

В статті досліджено застосування поверхонь типу «Лупа» для моделювання складних багатофакторних процесів. Зокрема, введено назву «параболічна поверхня Балюби - БПП», що будується за емпіричними даними, зроблено її аналіз та виявлено властивості та ознаки, які пояснюють можливість перетворення БПП у площину, пряму, точку. Обґрунтовується, що БПП є композицією вихідних точок, а також можливість її застосування у способі розгортання-згортання чарунок. Ці дослідження обґрунтовують можливості застосування способу розгортання-згортання чарунок для моделювання багатофакторних процесів. Цей спосіб, у подальшому, буде покладено у основу математичного апарату в інформаційних системах підтримки управлінських рішень при впровадженні енергозберігаючих проектів.

Бібл. 8, іл. 5, табл. 1.

УДК 004.93

Ахметшина Л.Г., Єгоров А.О., Ахметшин К.О. **Аналіз слабоконтрастних зображень на основі перетворення нечіткої функції приналежності** // Системні технології. Регіональний міжвузівський збірник наукових праць. – Випуск 1(108). – Дніпро, 2017. – С.12 - 19.

Розглянуто можливості методу сегментації слабоконтрастних зображень, який забезпечує підвищення її чутливості та достовірності. Суть його полягає у тому, що до функцій приналежності, які формуються методом dFCM, та інтерпретуються як зображення, на кожному кроці ітерації застосовується процедура перетворення на базі нечіткої логіки. Представлені експериментальні результати на прикладі обробки рентгенівських знімків.

Бібл. 4, іл. 4.

УДК 536.24

Бердник М.Г. **Математичне моделювання узагальненої крайової задачі Неймана теплообміну порожнього кусково-однорідного циліндра** // Системні технології. Регіональний міжвузівський збірник наукових праць. – Випуск 1(108). – Дніпро, 2017. – С.20 - 28.

Розроблена математична модель температурних розподілів у порожньому кусково-однорідному циліндрі, який обертається з постійною кутовою швидкістю навколо осі OZ з урахуванням кінцевої швидкості поширення тепла, у вигляді крайової задачі Неймана математичної фізики. Розроблено нове інтегральне перетворення для кусково-однорідного простору, за допомогою якого знайдено температурне поле порожнього кусково-однорідного кругового циліндра у вигляді збіжних ортогональних рядів по функціям Бесселя і Фур'є.

Бібл. 6.

УДК 004.92+51-37

Івон О.І., Івон Ю. О., Лавров Р.І. **Програмне забезпечення для визначення лінійного опору, що обмежує струм бар'єрів у варисторних матеріалах** // Системні техноло-

гії. Регіональний міжвузівський збірник наукових праць. – Випуск 1(108). – Дніпро, 2017. – С.29 - 36.

Засобами HTML, CSS, JavaScript і бібліотеки jQuery розроблена програма для визначення лінійного опору, що обмежує струм бар'єрів у варисторних матеріалах. Розрахунок цього опору програма здійснює за даними сканування растрових зображень аналогових осцилограм, отриманих для зразка варистора в області сильного електричного струму. Будь який браузер мережі Інтернет може бути використаний, як середовище для програми.

Бібл. 4, іл. 3.

УДК 004.92+51-37

Івон О.І., Істушкін В.Ф. **Оцифровування осцилограм за допомогою растрових зображень для підвищення точності визначення параметрів сигналів** // Системні технології. Регіональний міжвузівський збірник наукових праць. – Випуск 1(108). – Дніпро, 2017. – С.37 - 40.

Досліджено спосіб оцифровування осцилограм аналогових осцилографів за допомогою растрових зображень, як засіб підвищення точності визначення параметрів електричних сигналів. Показано, що використання растрових зображень осцилограм для визначення часових параметрів сигналів дозволяє забезпечити точність вимірювання на рівні цифрових частотомірів.

Бібл. 3, іл. 2, табл. 1.

УДК 004.9

Ковальов Д.К., Вовк С.М. **Комп'ютерна система для зчитування друкованого тексту та його коригування** // Системні технології. Регіональний міжвузівський збірник наукових праць. – Випуск 1(108). – Дніпро, 2017. – С.41 - 45.

Пропонується комп'ютерна система для зчитування та коригування друкованого тексту на основі бібліотек з відкритим програмним кодом Tesseract-OCR, EmguCV та NHunspell. Система розроблена на базі програмної платформи Microsoft .NET Framework та дозволяє вводити зображення з друкованим текстом (фото, відсканована сторінка тощо) у стандартних графічних форматах, виконувати його розпізнавання, перевіряти отриманий текст на орфографічні помилки та виправляти їх. Система підтримує автоматичний режим коригування тексту та інтерактивний режим для самостійного виправлення помилок.

Бібл. 4.

УДК 519.21 : 519.24

Крохин В.В. **Исследование устойчивости методов выбора оптимальной модели множественной линейной регрессии в случае, когда независимые переменные являются квазилинейными** // Системні технології. Регіональний міжвузівський збірник наукових праць. – Випуск 1(108). – Дніпро, 2017. – С.46 - 54.

Методом имитационного моделирования, с помощью оригинальной программы, разработанной в среде МАТЛАБ, проводится исследование влияния квазилинейности между входными переменными на эффективность различных методов выбора оптимальной модели множественной линейной регрессии (МЛР). Проанализированы пять различных методов выбора оптимальной МЛР.

На основе полученных данных сделан вывод, что существенное влияние квазилинейности на выбор оптимальной МЛР проявляется только при очень высокой степени

коррелированности между входными переменными (больше 0,999). В случае наличия сильной линейной зависимости между входными переменными, рекомендуется использовать для выбора оптимальной МЛР метод всех возможных регрессий с использованием статистики Маллоуза в качестве критерия оптимальности, когда число возможных независимых переменных меньше 15. В противном случае, предпочтение следует отдать методу последовательного исключения.

Библ. 5, табл. 1.

УДК 614.2+574/578+004.38

Литвинов О.А. **Фреймова мова для моделювання програмного забезпечення** // Системні технології. Регіональний міжвузівський збірник наукових праць. – Випуск 1(108). – Дніпро, 2017. – С.55 - 62.

В роботі пропонується формальна модель фреймової мови, яка може застосовуватися для опису домену, враховуючи всі деталі необхідні для ефективної трансформації моделі в системні компоненти.

Бібл. 5. іл.1.

УДК 614.2+574/578+004.38

Литвинов О.А. **Формалізація системи сценаріїв лінгвістичної навчальної системи** // Системні технології. Регіональний міжвузівський збірник наукових праць. – Випуск 1(108). – Дніпро, 2017. – С.63 - 70.

В роботі пропонується формалізована модель системи сценаріїв, яка спрямована на узагальнення опиту та визначення потенціалу інтегративних лінгвістичних навчальних систем, визначення проблем та шляхів до їх вирішень.

Бібл. 8. іл.1.

УДК 621.3

Матвеева Н.О., Лазоренко Ю.В. **Розпізнавання візуальних образів сигналів за допомогою нейронних мереж** // Системні технології. Регіональний міжвузівський збірник наукових праць. – Випуск 1(108). – Дніпро, 2017. – С.71 - 79.

Використання нейронних мереж на основі багатопередового персептрона запропоновано як метод для розпізнавання візуальних образів. Продемонстрована працездатність мережі на прикладі розпізнавання та класифікації електромагнітних сигналів. Моделювання виконувалося в середовищі MATLAB.

Бібл. 6, табл. 2, іл. 4.

УДК 519.3:620.179

Пашенко В.О. **Теоретичні засади інформаційної технології нестационарного електромагнітного контролю ортотропних дисипативних композитів** // Системні технології. Регіональний міжвузівський збірник наукових праць. – Випуск 1(108). – Дніпро, 2017. – С.80 - 85.

Отримані аналітичні просторово-часові розподілення тангенціальних проекцій вихорового струму, індукованого прямокутним контуром нестационарного стороннього збурення, під поверхнею ортотропного дисипативного композита.

Бібл. 10, іл. 1.

УДК 621.3

Пономарьов І.В., Чухало А.Р. **Особливості розробки сайту за допомогою ASP.Net MVC Framework** // Системні технології. Регіональний міжвузівський збірник наукових праць. – Випуск 1(108). – Дніпро, 2017. – С.86 - 90.

Описуються основні компоненти технології MVC. Запропоновані принципи створення архітектури сайтів й зазначають основні переваги цього підходу.

Бібл. 2., іл.1

УДК 004.9

Прокопчук О.М. **Комп'ютерна система стереозору для візуального визначення відстані до об'єктів** / О.М. Прокопчук С.М. Вовк // Системні технології. Регіональний міжвузівський збірник наукових праць. – Випуск 1(108). – Дніпро, 2017. – С.91 - 95.

На основі бібліотеки OpenCV та додатково розроблених функцій пропонується комп'ютерна система стереозору для візуального визначення відстаней до об'єктів, поміж об'єктами та на об'єктах. Визначення відстаней здійснюється або в автоматичному режимі через відповідні функції бібліотеки OpenCV, або в інтерактивному режимі шляхом використання додатково розроблених функцій, які пов'язані з виокремленням точок на об'єктах.

Бібл. 4, іл.2

УДК 004.75

Спірінцев В.В., Кушка А.А. **Фреймворк на базі мови програмування Scala для створення Restful Web-сервісів** // Системні технології. Регіональний міжвузівський збірник наукових праць. – Випуск 1(108). – Дніпро, 2017. – С.96 - 101.

Пропонується фреймворк на базі мови програмування Scala для розробки стандартизованих RESTful веб-сервісів. Проект націлений на застосовування іншими розробниками програмного забезпечення для полегшення розробки веб-додатків, створених за допомогою архітектури мікросервісів.

Бібл. 5, іл. 6.

УДК 514.182.7:519.65:004.9

Спірінцев Д.В., Найдиш А.В. **Методи геометричного моделювання та візуалізації цифрової моделі рельєфу** // Системні технології. Регіональний міжвузівський збірник наукових праць. – Випуск 1(108). – Дніпро, 2017. – С.102 - 109.

Виконано огляд основних напрямків, в яких ведуться роботи по оптимізації розв'язання задач моделювання та візуалізації складних тривимірних об'єктів цифрової моделі рельєфу. Незважаючи на десятки робіт, немає однозначної думки щодо кращого методу геометричного моделювання. Тому у роботі показано, що основним напрямком оптимізації розв'язання задач візуалізації складних об'єктів, є використання високоефективних, економічних і простих у реалізації алгоритмів для побудови багатомасштабного подання інформації і побудови адаптивних сіток, що є основою для побудови високопродуктивних програм візуалізації великого обсягу інформації. З наведеного огляду найбільш перспективними можна вважати методи крігінгу, природної околиці, методи ВДГМ та методи БН-числення.

Бібл. 20.

УДК 004.9

Спірінцева О.В. **Застосування факторного аналізу до обробки багатоспектральних растрових зображень** // Системні технології. Регіональний міжвузівський збірник наукових праць. – Випуск 1(108). – Дніпро, 2017. – С.110 - 114.

В роботі досліджений альтернативний спосіб оптимізації обсягів видових даних достатніх для їх (даних) інтерпретації. Стиснення обсягу видових даних здійснено шляхом опису процесу за допомогою загальних факторів.

Бібл. 7, іл. 5.

УДК 681.3.07 : 620.179.14

Стародубцев О.Л. **Дослідження нейронних мереж для ідентифікації сигналів вихорострумової дефектоскопії** // Системні технології. Регіональний міжвузівський збірник наукових праць. – Випуск 1(108). – Дніпро, 2017. – С.115 - 122.

Розглянуто питання визначення оптимального типу нейронної мережі та її параметрів для ідентифікації модуляційного сигналу поверхневої тріщини при дефектоскопії композитних матеріалів зі значною шорсткістю поверхні.

Найкращі результати при моделюванні показала мережа прямої передачі із зворотнім напрямком поширення помилки, гіперболічною тангенціальною функцією активації, квазіньютонівим алгоритмом навчання Левенберга – Марквардта та настройкою параметрів методом градієнтного спуску із збурюванням.

Прийнятна, з практичної точки зору, достовірність ідентифікації дефекту отримується при рівні шуму до 30% від рівня амплітуди сигналу дефекту.

Бібл. 6, табл. 1, іл. 5.

УДК 621.373 – 187.4

Твердоступ М.І. **Аналіз F-метра з керованою чутливістю до приросту реактанса індуктивного давача** // Системні технології. Регіональний міжвузівський збірник наукових праць. – Випуск 1(108). – Дніпро, 2017. – С.123 - 128.

Знайдено умови управління крутизною характеристики перетворення вимірювального генератора на основі комбінованої операційної схеми шляхом зміни ступеня компенсації початкової індуктивності параметричного датчика, включеного в резонансний контур генератора.

Бібл. 4, іл. 3

УДК 680.179:681.513

Тонкошкур О.С., Повзло Є.Л. **Алгоритм обробки даних кінетики відгуку резистивного газового сенсору на основі моделі розтягнутої експоненціальної функції** // Системні технології. Регіональний міжвузівський збірник наукових праць. – Випуск 1(108). – Дніпро, 2017. – С.129 - 134.

Проведено оцінку придатності алгоритму на основі моделі розтягнутої експоненціальної функції для обробки даних кінетики відгуку резистивних газових сенсорів з метою розширення функціональних властивостей відповідних інформаційно-вимірювальних технологій та практичного застосування. Апробація алгоритму на зразках газових сенсорів на основі керамічного оксиду цинку показала його ефективність для моделювання кінетики спаду відгуку після впливу активного газу (метану). Визначені параметри: статичне значення відгуку; середній час релаксації та його розподіл.

Бібл. 13, іл. 3.

УДК 681.3.07

Хандецький В.С. **Оптимізація топології ядра комп'ютерної мережі OSPF на основі неявного балансування навантаження** // Системні технології. Регіональний міжвузівський збірник наукових праць. – Випуск 1(108). – Дніпро, 2017. – С.135 - 141.

Запропоновано модифікацію неявного коефіцієнту балансування навантаження ILBI, визначаючи його в залежності від відносної інтенсивності інформаційного трафіку в каналах ядра OSPF-мережі. Досліджено ядра з різною кількістю ABR маршрутизаторів. На цій основі проведено модифікацію топології ядра, що дозволило реалізувати більш рівномірний розподіл навантаження по каналам при значно більшій середній швидкості переміщення пакетів в ядрі.

Бібл. 6, іл. 4, табл. 2.

УДК 535.37

Морозов О. С., Коваленко О. В., Буланый М. Ф. **Автоматизована експериментальна установка для дослідження кінетики фотолюмінесценції при імпульсному збудженні** // Системні технології. Регіональний міжвузівський збірник наукових праць. – Випуск 1(108). – Дніпро, 2017. – С.142-151.

Наведено опис експериментальної установки, призначеної для дослідження спектрів фотолюмінесценції при імпульсному збудженні від лазерного джерела. Це дозволяє за часом загасання сигналу, що реєструється на різних довжинах хвиль в діапазоні від 400 до 700 нм, отримати інформацію про індивідуальні складові інтегрального спектру. Реєстрація здійснюється за допомогою АЦП, що запускається синхронно зі збуджуючим лазером. Представлені блок-схеми експериментальної установки та пристрою управління експериментом, описано його складові: підсилювач ФАПЧ, АЦП подвійного інтегрування з пристроєм вибірки-зберігання і дешифратором семисегментного коду в прямий двійковий код, АЦП послідовних наближень, комутатор виходів АЦП для LPT порту ЕОМ, контролер і формувач імпульсу запуску лазера.

Бібл. 9, іл. 2, табл. 1.

УДК 004.021+378.147

Карпенко Н.В., Мартынович Л.Я. **Особенности преподавания программирования в ВУЗе** // Системні технології. Регіональний міжвузівський збірник наукових праць. – Випуск 1(108). – Дніпро, 2017. – С.152-157.

Проанализировано усвоение студентами Днепропетровского национального университета им. О. Гончара (специальность – компьютерная инженерия) основ программирования, определены основные проблемы, с которыми сталкиваются студенты во время обучения данной дисциплине. Показано корреляцию успешности обучения студентов разным дисциплинам.

Библ. 5, Табл. 1, Илл. 2.

УДК 620. 179.14

Сівцов Д.П., Хандецький В.С. **Використання конвертора від'ємного опору у приладі для оцінки якості лазерного зварювання** // Системні технології. Регіональний міжвузівський збірник наукових праць. – Випуск 1(108). – Дніпро, 2017. – С.158-166.

Надається метод підвищення чутливості вихорострумове датчика для контролю дефектів лазерного зварювання та засоби для реалізації цього методу. Він був застосований на практиці у приладі для контролю якості лазерного зварювання у суперконденсато-

рах. Для цього вихорострумний датчик з'єднувався з конвертором від'ємного опору (КВО), який був спеціально розроблений на базі LC-генератору.

Бібл. 6, табл. 1, іл. 4

УДК:004.8

Данилов В.Я., Данілов В.Я., Краснощок І.О. **Застосування згорткових нейронних мереж для розпізнавання зображень вибірки CIFAR-10** // Системні технології. Регіональний міжвузівський збірник наукових праць. – Випуск 1(108). – Дніпро, 2017. – С.167-171.

Розроблено архітектуру загорткової нейронної мережі для розпізнавання зображень за наступними класами: літак, автомобіль, пташка, кішка, олень, собака, жаба, кінь, човен, вантажівка. Отримано нейронну мережу для розпізнавання об'єктів вибірки CIFAR-10 з точністю 95.6%. Порівняно результат роботи загорткової нейронної мережі з лінійним класифікатором і k-NN класифікатором.

Бібл. 5, іл. 5, табл. 1.

UDC 514.18

Adoniev Y.O., Vereshchyaga V.M. **Identification and analysis of a parabolic surface Balyuby – PSB** // System technologies. N 1(108) - Dnipro, 2017. - P.3 - 11.

The article studied the application of surfaces "Magnifier" type for modelling of complex multifactorial processes. In particular, introduced the term "parabolic surface Balyuby - PSB," which is based on empirical data, it carried out an analysis and determined its properties and characteristics that explain the possibility of PSB conversion into a plane, line, point. It is proved that PSB is a composition of the starting points as well as possibilities of its application in the process of unfolding-folding cells. These researches substantiate the possibility of applying the method of folding-unfolding of the cells for modeling of the multifactorial processes. This method, in the future, will form the basis of the mathematical apparatus in the information systems for support management decisions in the implementation of energy-saving-projects.

Bibl. 8, ill. 5, tabl. 1.

UDC 004.93

Akhmetshina L.H, Yegorov A.O, Akhmetshin K.O. **Segmentation of low contrast images on the basis of the transformation of fuzzy membership functions** // System technologies. Regional interuniversity collection of scientific papers. Issue 1(108). - Dnipro, 2017. – P.12 - 19.

The possibilities of the method of segmentation of low-contrast image, which enhances its sensitivity and reliability. Its essence lies in the fact that the accessory functions formed by dFCM, which is interpreted as an image on each iteration step the procedure conversion based on fuzzy logic. Experimental results on X-ray image processing example.

Bibl. 4, ill. 4.

UDC 536.24

Berdnyk M.H. **Mathematical modeling of heat transfer fluid in the initial section hydrodynamicheskye** // System technologies. Regional interuniversity collection of scientific papers. Issue 1(108). - Dnipro, 2017. – P.20 - 28.

A mathematical model of the temperature distribution in the hollow piecewise uniform cylinder, which rotates at a constant angular velocity about the axis OZ, taking into account the finite speed of propagation of heat in the form of the Neumann boundary problem of mathematical physics. Created a new integral transform of a piecewise-homogeneous space, with which found the temperature field empty piecewise homogeneous circular cylinder in the form of convergent orthogonal series of Bessel functions and of Fourier.

Bibl. 6.

UDC 004.92+51-37

Ivon A.I., Ivon Y. A., Lavrov R.I. **Software for determining linear resistance limiting the barrier current in varistor materials** // System technologies. Regional interuniversity collection of scientific papers. Issue 1(108). - Dnipro, 2017. – P.29 - 36.

A program for determining linear resistance limiting the barrier current in varistor materials was developed with the usage of HTML, CSS, JavaScript and jQuery library. The program calculates this resistance based on the data, obtained at scanning raster images of analog oscillograms, registered at a strong electric current for a sample of a varistor material. Any Internet browser can be used as a software environment for the program presented in this work.

Bibl. 4, ill. 3.

UDC 004.92+51-37

Ivon A.I., Istushkin V.F. **Digitization of oscillograms by raster images for rising of accuracy at signal parameters determination** // System technologies. Regional interuniversity collection of scientific papers. Issue 1(108). - Dnipro, 2017. – P.37 - 40.

The digitization method of analog oscillograms by means of raster images was investigated as the means for rising of accuracy at signal parameters determination. As was shown, the use of raster images of analog oscillograms for determination of the signal time parameters allows providing the measurement accuracy on a level of digital frequency meters.

Bibl. 3, ill. 2, tabl. 1.

UDC 004.9

Kovalev D.K., Volk S. **Kompyuternaya system for schytyvanyya printed text and adjusting the ego** // System technologies. Regional interuniversity collection of scientific papers. Issue 1(108). - Dnipro, 2017. – P.41 - 45.

A computer system for reading and adjustments printed text based on open source libraries Tesseract-OCR, EmguCV and NHunspell is proposed. It based on Microsoft .NET Framework and allows to enter the printed text on images (photos, scanned pages, etc.) in standard graphic formats, fulfill recognition, check the resulting text for spelling errors and correct it. The system works in automatic mode or allows to correct text in interactive mode.

Bibl. 4.

UDC 519.21 : 519.24

Krokhin V.V. **Stability investigation of the methods of selection of optimum model of multiple linear regression in the case when the independent variables are quasicollinear** // System technologies. Regional interuniversity collection of scientific papers. Issue 1(108). - Dnipro, 2017. – P.46 - 54.

There has been undertaken an analysis of the effectiveness of choice of optimal model of multiple linear regression with a strong linear relationship between the input variables. The study was conducted using a simulation method. It was conducted by analyzing five methods for selecting the optimal MLR (method of all possible regressions with the corrected coefficient of determination as an optimality criterion, the method of all possible regressions with the corrected coefficient of determination as benchmarks, and assessment of the significance of MDR ratios (based on t-statistics) method of all possible regressions using statistics of Mallouza as an optimality criterion, successive elimination method, incremental method) in terms of their stability under conditions of multi-collinearity. The study was conducted with the help of specially designed tion in the environment MATLAB software.

Bibl. 5, tabl. 1.

UDC 614.2+574/578+004.38

Litvinov A.A. **A frame-based language used for software modelling** // System technologies. Regional interuniversity collection of scientific papers. Issue 1(108). - Dnipro, 2017. – P.55 - 62.

The given work is devoted to formalization of a frame-based language which is able to describe domain in a full, platform independent manner, considering all necessary information that could be effectively used by the transformation mechanism for information system construction and maintenance.

Bibl. 5, ill. 1.

UDC 614.2+574/578+004.38

Litvinov A.A. **On formalization of computer-aided language learning system scenario** // System technologies. Regional interuniversity collection of scientific papers. Issue 1(108). - Dnipro, 2017. – P.63 - 70.

The given work is devoted to language learning system scenario formalization aimed to generalize the experience, estimate the potential of the integrative systems, clarify the problems and suggest their solutions.

Bibl. 8, ill. 1.

UDC 621.3

Matveeva N.O, Lazorenko Y. **Recognition visual images of signal using neural networks** // System technologies. Regional interuniversity collection of scientific papers. Issue 1(108). - Dnipro, 2017. – P.71 - 79.

The use of neural networks based on multi-layer perceptron is presented as a method for the recognition of visual images. Network performance is demonstrated by the example of recognition and classification of electromagnetic signals. Modeling was performed in Matlab environment.

Bibl. 6, tabl. 2, ill.4.

UDC 519.3:620.179

Pashchenko V.V. **The theoretical basis of the informational technology of nonstationary electromagnetic testing for orthotropic dissipative composites** // System technologies. Regional interuniversity collection of scientific papers. Issue 1(108). - Dnipro, 2017. – P.80 - 85.

Analytical spatial-temporal distributions of tangential projections of eddy currents, induced by the rectangular contour of nonstationary external excitement, under a surface of orthotropic dissipative composites have been obtained.

Bibl. 10, ill. 1.

UDC 621.3

Ponomarev I.V., Chuhalo A.R. **Features of the development site with ASP.Net MVC Framework** // System technologies. Regional interuniversity collection of scientific papers. Issue 1(108). - Dnipro, 2017. – P.86 - 90.

Website development using ASP.NET MVC FRAMEWORK. It describes the basic components of the MVC technology. The principles of construction of architectural sites and identifies the main advantages of this approach.

Bibl. 2, ill. 1.

UDC 004.9

Prokopchuk O.M. **Computer stereo vision system for visually determining distance to objects** / O.M. Prokopchuk, S.M. Vovk // System technologies. Regional interuniversity collection of scientific papers. Issue 1(108). - Dnipro, 2017. – P.91 - 95.

Based on the OpenCV library and additionally developed functions the computer stereo vision system, that allows visually determining the distance to the objects, the distance between the objects and the distance on the objects, is proposed. Determining distances is obtained either in automatic mode through the appropriate function of the OpenCV library re-

lated to the searching of objects by their templates, or is interactive mode by using developed functions associated with the marked points on objects.

Bibl. 4, il. 2.

UDC 004.75

Spiritsev V.V., Kushka A.A. **Framework on the basis of the Scala programming language for creation restful Web services** // System technologies. Regional interuniversity collection of scientific papers. Issue 1(108). - Dnipro, 2017. – P.96 - 101.

Framework on the basis of the Scala programming language for development of the standardized RESTful of web services is offered. The project is aimed at application by other software developers for facilitation of development of web applications created by means of microservices architecture.

Bibl. 5, ill. 6.

UDC 514.182.7:519.65:004.9

Spiritsev D.V, Naydysh A.V. **Methods geometric modeling and visualization of digital elevation models** // System technologies. Regional interuniversity collection of scientific papers. Issue 1(108). - Dnipro, 2017. – P.102 - 109.

A review of the main areas in which work is underway to optimize solutions simulation and visualization of complex three-dimensional objects DEM. Despite the dozens of works, there is no single opinion regarding the best method of geometric modeling. Therefore, we have shown that the main focus of optimization solutions visualization tasks of complex objects is the use of high-performance, cost-effective and easy-to-implement algorithms for the construction of multi-scale presentation and construction of adaptive grids, which subsequently forms the basis for building high-performance visualization of large amounts of information programs. From the review of the most promising can be considered as methods of kriging, natural surroundings, discrete method of variable geometric modeling and methods Balyuby-Naydysha calculus.

Bibl. 20.

UDC 004.9

Spiritseva O.V. **Factor analysis for multispectral raster images processing** // System technologies. Regional interuniversity collection of scientific papers. Issue 1(108). - Dnipro, 2017. – P.110 - 114.

The alternative methodic of landscape data level optimization which are enough for its interpretation is studied in the paper. The landscape **data level compression is executed by general factors based process description part.**

Bibl. 7, ill. 5.

UDC 681.3.07 : 620.179.14

Starodubtsev O.L. **Research of neural networks for identification signals eddy current flaw detection** // System technologies. Regional interuniversity collection of scientific papers. Issue 1(108). - Dnipro, 2017. – P.115 - 122.

The problems of determining the optimal type of neural network and its parameters for identification of the modulation signal at the surface crack inspection of composite materials with a large surface roughness were considered.

The best results in the simulation showed by feedforward neural network with backward propagation of errors, the hyperbolic tangent activation function, quasi-Newton learning Levenberg-Marquardt algorithm and settings gradient descent method with disturbance.

Acceptable, from a practical point of view, the reliability of the identification defect that is obtained when the noise level up to 30% of the level of the defect signal amplitude.

Bibl. 6, tabl. 1, ill.5.

UDC 621.373 – 187.4

Tverdostup N.I. Analysis of F-meters with controlled sensitivity to the increment of the reactance of the inductive sensor // System technologies. Regional interuniversity collection of scientific papers. Issue 1(108). - Dnipro, 2017. – P.123 - 128.

Found management conditions Slope conversion measuring generator on the basis of the combined operating scheme, we start by changing the degree of inductance compensation parametric encoder included in the oscillator resonant circuit.

Bibl. 4, ill. 3.

UDC 680.179:681.513

Tonkoshkur A.S., Povzlo E.L. Algorithm of processing the response kinetics data for the resistance of gas sensor based on a stretched exponential function // System technologies. Regional interuniversity collection of scientific papers. Issue 1(108). - Dnipro, 2017. – P.129 - 134.

The evaluation of the suitability of the algorithm based on the model stretched exponential function for handling the response kinetics data resistive gas sensors. This corresponds to the task of expanding the functional properties of research information and measurement systems and technical application problems. Testing of the algorithm on samples of gas sensors based on zinc oxide of the ceramic shown efficacy for modeling decay kinetics of the response after exposure to the detected gas (methane). Defined parameters: static response value; average relaxation time and distribution of these times.

Bibl. 13, ill. 3.

UDC 681.3.07

Khandetskyi V.S. Optimization of OSPF computer network core topology on implicit load balancing basis // System technologies. Regional interuniversity collection of scientific papers. Issue 1(108). - Dnipro, 2017. – P.135 - 141.

It is proposed to assign of implicit load balancing index ILBI dependent on relational intensity of information traffic in OSPF-network core channels. The cores with different numbers of ABR routers are studied. On this basis we performed modification of the core topology that allowed to realize a more uniform distribution of load in channels when much greater average movement velocity of packets in the core.

Bibl. 6, ill. 4, tabl. 2.

UDC 535.37

Morozov A. S., Kovalenko A. V., Bulaniy M. F. Automatic experimental assembly for investigation of kinetics of photoluminescence by pulse excitation // System technologies. Regional interuniversity collection of scientific papers. Issue 1(108). - Dnipro, 2017. – P.142 - 151.

This is a description of the research equipment, which designed for investigation of photoluminescence spectra, which was excited by pulsed laser excitation. Recording the de-

cay time of signal at various wavelengths in the range from 400 to 700 nm allows obtaining information about the individual components of the experimental spectrum. The recording of the decay time of signal by analog-to-digital converter starts synchronously with the laser excitation. The block schemes of research equipment and experimental control components: switcher of ADC outputs for LPT port, controller, and starter of laser, successive approximations ADC and double integration ADC with sample-and-hold circuit and binary decoder from seven-segment code are described.

Bibl. 9, ill. 2, tabl. 1.

UDC 004.021+378.147

Karpenko N.V., Martynovych L.Y. **The features of teaching programming in the university** // System technologies. Regional interuniversity collection of scientific papers. Issue 1(108). - Dnipro, 2017. – P.152 - 157.

The assimilation of the programming by the students of Dnipropetrovsk National University (specialty - computer engineering) was analyzed. The basic problems the students face in programming were defined. The correlation coefficient of success in students training in various disciplines was compared.

Bibl. 5, ill. 2, tabl. 1.

UDC 620. 179.14

Sivtsov D.P., Khandetsky V.S. **Using the negative impedance converter in device for quality testing of laser welding** // System technologies. Regional interuniversity collection of scientific papers. Issue 1(108). - Dnipro, 2017. – P.158-166.

The paper presents a method for increasing the sensitivity of the eddycurrent probe for testing of defects of laser welding and a means for this method implementation. It was practically applied in measurement device for monitoring of quality of laser welding in supercapacitors. For this purpose the eddy-current probe was connected to the negative resistance converter (NRC) which was especially designed on the base of the LC-oscillator.

Bibl. 6, tabl. 1, fig. 4

UDK 004.8

Danilov V.Y., Danilov Vl. Y., Krasnoshchok I.O. **Convolution neural network for CIFAR-10 dataset** // System technologies. Regional interuniversity collection of scientific papers. Issue 1(108). - Dnipro, 2017. – P.167-171.

Properly designed architecture of convolution neural network for recognition images in classes: plane, car, bird, cat, deer, dog, frog, horse, ship and truck. Obtained neural network with accuracy 95.6% on CIFAR-10 dataset. Compared recognition results of convolution neural network with linear classifier and k-NN classifier.

Bibl. 5, il. 5, table 1.

АВТОРЫ ВЫПУСКА

Адоньев Евгений Александрович - к.т.н., доцент, декан економіко-гуманітарного факультету Запорізького національного університету м. Мелітополь.

Ахметшин Костянтин Олександрович - програміст DAXX (м. Дніпро).

Ахметшина Людмила Георгіївна - професор, д.т.н., професор кафедри ЕОМ Дніпропетровського національного університету ім. О. Гончара.

Бердник Михайло Геннадійович - к.ф.-м.н., доцент, доцент каф. ПЗКС Державного вищого навчального закладу "Національний гірничий університет".

Буланий Михало Филимонович – професор, д.ф.-м.н, проф. кафедри радіоелектроніки Днепропетровского національного университета им. Олеса Гончара.

Верещага Віктор Михайлович - д.т.н., професор, професор кафедри прикладної математики та інформаційних технологій Мелітопольського державного педагогічного університету ім. Богдана Хмельницького.

Вовк Сергей Михайлович – к.ф.-м.н., доцент, Дніпропетровський національний університет імені Олеса Гончара, доцент кафедри автоматизованих систем обробки інформації.

Єгоров Артем Олександрович - к.т.н., старший викладач кафедри АСОІ Дніпропетровського національного університету ім. О. Гончара.

Ивон Александр Иванович – професор, д.ф.-м.н., професор кафедри ЕВМ Днепропетровского національного университета им. Олеса Гончара.

Ивон Юрий Александрович - ведучий інженер-програміст.

Истущкин Валерий Федорович – доцент, к.т.н., доцент кафедри ЕВМ Днепропетровского національного университета им. Олеса Гончара.

Карпенко Надія Валеріївна – к.ф.-м.н, доцент кафедри ЕОМ, Дніпропетровський національний університет ім. О. Гончара.

Коваленко Александр Владимирович – докт. физ.-мат. наук, зав. каф. радиоэлектроники, Днепропетровский национальный университет им. Олеса Гончара.

Ковальов Дмитро Костянтинович – студент 4-го курсу, Дніпропетровський національний університет імені Олеса Гончара, студент кафедри автоматизованих систем обробки інформації.

Крохин Владимир Викторович - доцент, к.ф.-м.н., доцент кафедри електронних вичислительных машин Днепропетровского национального университета им. Олеса Гончара.

Кушка Артур А. - випускник кафедри АСОІ Дніпропетровського національного університету ім. О. Гончара.

Лавров Роман Иванович – асистент кафедри ЕВМ Днепропетровского национального университета им. Олеса Гончара.

Лазоренко Юрий Викторович – магістр кафедри ЕВМ Днепропетровского национального университета им. Олеса Гончара.

Литвинов Александр Анатольевич – доцент, к.т.н, доцент кафедри ЕОМ Дніпропетровського національного університету ім. О. Гончара.

Мартынович Лариса Ярославовна – асистент кафедри ЕВМ Днепропетровского национального университета им. Олеса Гончара.

Матвеева Наталия Александровна – доцент, к.т.н., доцент каф. ЕВМ, ДНУ им. Олеса Гончара.

Морозов Олександр Сергійович - старший викладач кафедри ЕОМ Дніпропетровського національного університету ім. О. Гончара.

Найдиш Андрій Володимирович - д.т.н., професор, зав. каф. прикладної математики та інформаційних технологій Мелітопольського державного педагогічного університету імені Богдана Хмельницького.

Пащенко Володимир Олександрович - доцент, к.т.н., доцент кафедри ЕОМ Дніпропетровського національного університету ім. О. Гончара.

Повзло Євген Леонідович - аспірант кафедри радіоелектроніки Дніпропетровського національного університету імені Олеся Гончара.

Пономарев Игорь Владимирович – доцент, к.т.н., доцент кафедри ЕОМ Дніпропетровського національного університету ім. О. Гончара.

Прокопчук Олег Миколайович — студент 5-го курсу кафедри автоматизованих систем обробки інформації Дніпровського національного університету імені Олеся Гончара (м. Дніпро).

Сивцов Дмитрий Павлович – заведуючий учебной лабораторией кафедры электронных вычислительных машин факультета физики, электроники и компьютерных систем ДНУ им. О. Гончара.

Спірінцев В'ячеслав Васильович – доцент, к.т.н., доцент кафедри автоматизованих систем обробки інформації Дніпропетровського національного університету імені Олеся Гончара.

Спірінцев Дмитро Васильович - доцент, к.т.н., доцент кафедри математики і фізики Мелітопольського державного педагогічного університету імені Богдана Хмельницького.

Спірінцева Ольга Володимирівна – к.т.н., доцент кафедри електронних обчислювальних машин Дніпропетровського національного університету імені Олеся Гончара.

Стародубцев Олексій Леонідович - асистент кафедри електронних обчислювальних машин Дніпропетровського національного університету імені Олеся Гончара.

Твердоступ Николай Иванович – доцент, к.т.н., доцент кафедри ЕВМ Дніпропетровського національного університету ім. Олеся Гончара.

Тонкошкур Олександр Сергійович - професор, д.ф.-м.н., професор кафедри ЕОМ Дніпропетровського національного університету імені Олеся Гончара.

Хандецкий Владимир Сергеевич – професор, д.т.н., зав. каф. ЕВМ Дніпропетровського національного університету ім. Олеся Гончара.

Чухало Артем Русланович - студент 4-го курсу кафедри ЕВМ Дніпропетровського національного університету ім. Олеся Гончара.

Сівцов Дмитро Павлович - завідувач учбової лабораторії кафедри електронних обчислювальних машин факультету фізики, електроніки і комп'ютерних систем ДНУ ім. О. Гончара.

Данилов Валерій Якович – докт. тех. наук, професор кафедри Математичних методів системного аналізу ННК ІПСАНТУУ «КПІ», м. Київ.

Данілов Володимир Якович – канд. фіз.-мат. наук, доцент кафедри загальної математики механіко-математичного факультету КНУ імені Тараса Шевченка.

Краснощок Ілля Олександрович – студент Інституту прикладного системного аналізу НТУУ «КПІ», м. Київ.