УДК 681.327.11

Н. В. Сачанюк-Кавецька, к. т. н.

ЕЛЕМЕНТИ ОКО-ПРОЦЕСОРНОЇ ОБРОБКИ ЗОБРАЖЕНЬ У ЛОГІКО-ЧАСОВОМУ СЕРЕДОВИЩІ

Прогресивні інформаційні технології пов’язані із необхідністю збирання та оброблення великих обсягів інформації. Саме ефективна і своєчасна обробка інформації є однією з найважливіших науково-технічних проблем створення засобів оброблення зображень на рівні людського сприйняття та мислення.

Сьогодні одним із основних шляхів вирішення цієї проблеми є нарощування кількості обладнання і збільшення складності алгоритмів, що обумовлюють необхідність паралельного оброблення інформації. Однак, більшість таких методів ефективно працюють лише для конкретно визначених типів сигналів, а це веде до необхідності додаткового оброблення і адаптації методів під час роботи з різними даними.

Попереднє оброблення зображень є однією з основних частин загального процесу оброблення і аналізу візуальної інформації. Використання засобів попереднього оброблення зображення є головним шляхом розв’язання протиріччя між природою зображення, як результату дії фізичних процесів, і необхідністю його формального представлення для оброблення в системах розпізнавання. Розробляючи системи штучного інтелекту, доцільно мати аналітичний опис сигналів, для можливості більш широкого дослідження, моделювання і розвитку систем оброблення інформації.

Тому для усунення вказаних недоліків при розробленні сучасних систем штучного інтелекту актуальними є задачі створення методів оброблення зображень око-процесорного типу, які використовують деяку універсальну функцію, що може описувати характеристики реального об`єкта, незалежно від типу вхідного сигналу. В ролі такої функції розглянуто логіко-часову функцію (ЛЧФ) [1] *k*-значної логіки, що є завершенням розроблення векторно-часових перемикальних функцій Рабиновича З. Л. [2]. Оскільки як основний параметр ЛЧФ використовує час, то з’являється можливість аналітичного описання сигналів шляхом перетворення будь-якого набору вхідних даних на відповідні часові інтервали. Аналітичне дослідження таких сигналів відкриває нові можливості у створенні методів їх оброблення.

Одним з найважливіших результатів етапу попереднього оброблення є дослідження змін сигналів та побудова первинного контурного рисунка, який описує зміни інтенсивності зображення і локальну геометрію ділянок контурних ліній: положення, довжину, орієнтацію і контраст. Досить ефективним шляхом підвищення швидкодії око-процесорного виділення контурів зображень є використання градієнтних операторів, в яких застосовується операція диференціювання ЛЧФ.

Метою даної статті є огляд розробленого автором математичного апарату логіко-часових функцій. Новизна роботи полягає в узагальненні цього апарату до використання у *k*-значній логіці. Розроблені підходи можна застосовувати для попереднього оброблення сигналів у системах технічного зору в процесі розпізнавання зорових образів пов’язаних з системами пошуку, стеження, біомедичного та технологічного контролю.

Для ефективного використання ЛЧФ необхідно ввести деякі спеціальні операції: операцію диференціювання ЛЧФ та операцію нерівнозначного віднімання ЛЧФ [3], які базуються на введеному понятті Δ- розбиття функції [4].

Похідна ЛЧФ *k*-значної логіки — це *k*-значна логіко-часова функція, що дорівнює приросту функції на *i*-му проміжку Δ-розбиття, якщо вихідна *k*-значна ЛЧФ набувала різних значень на $(i-1)$ і *i*-му проміжках. У протилежному випадку похідна дорівнює нулю. Для спрощення аналітичного опису похідної ЛЧФ використано основні позначення класичної математики.

Операція нерівнозначного віднімання ($|k|$) така:

$$f_1(t,t_{11},T_{11},a_1)\,|k|\,f_2(t,t_{21},T_{21},a_2) = \left\{ \left(t-(t_1+i\Delta_i)\right)|a_{i1}-a_{i2}|,\ t_1=\min(t_{11},t_{21}) \right\},$$

де t_{11}, t_{21} – часові координати змінних, T_{11} та T_{21} — тривалості відрізків існування першої та другої функції, a_1 та a_2 — відповідні амплітуди, i — кількість Δ-інтервалів в обраному часовому інтервалі, Δ_i -тривалість Δ -інтервалу, a_{i1}, a_{i2} — відповідні амплітуди на i -му Δ-інтервалі. Результатом цієї операції є також ЛЧФ, яку можна назвати нерівнозначною різницею.

Отримано властивості такої операції:

1) операція нерівнозначного віднімання є комутативною;

2) операція нерівнозначного віднімання є асоціативною;

3) якщо від будь-якої ЛЧФ відняти ЛЧФ, у якої усі амплітуди дорівнюють нулю, то в результаті отримуємо вихідну ЛЧФ;

4) будь-яку ЛЧФ, що має m відрізків існування можна представити, як нерівнозначну різницю m ЛЧФ, з одним відрізком існування;

5) будь-яку ЛЧФ $f(t, t_1, \ldots, t_m, T_1, \ldots, T_m, a_1, \ldots, a_m)$ можна представити, як нерівнозначну різницю інверсій елементарних ЛЧФ $f(t, t_1, T_1, a_1), f(t, t_2, T_2, a_2), \ldots, f(t, t_m, T_m, a_m)$;

6) якщо від довільної ЛЧФ $f(t, t_1, \ldots, t_m, T_1, \ldots, T_m, a_1, \ldots, a_m)$ відняти ЛЧФ $f_1(t, t_k, t_{k+1} - t_k, a)$, де $a = \max\{a_1, \ldots, a_m\}$, то отримуємо ЛЧФ інверсну функції $f(t, t_1, \ldots, t_m, T_1, \ldots, T_m, a_1, \ldots, a_m)$;

7) нехай маємо деяку ЛЧФ $f(t, t_1, t_2, t_3, T_1, T_2, T_3, a_1, a_2, a_3)$, причому $t_2 = t_1 + T_1$, $t_3 = t_1 + T_1 + T_2$,

$$a_2 \neq \begin{cases} 0 \\ \overline{(a_1 \vee a_3)} \end{cases} \quad \text{або} \quad a_2 \neq \begin{cases} 0 \\ (a_1 \wedge a_3) \end{cases},$$

тоді $f(t, t_1, t_2, t_3, T_1, T_2, T_3, a_1, a_2, a_3)\ |k|\ f(t, t_2, T_2, a_2) = f(t, t_1, t_3, T_1, T_3, a_1, a_3)$.

Серед усіх можливих класів ЛЧФ k-значної логіки виділено три замкнених класи.

Клас ЛЧФ, що між двома нулями набувають сталого значення.

Позначимо такі функції $f(t, t_1, T_1, a_1)$, де t — поточне значення часу, t_1 — часова координата, T_1 — тривалість відрізка існування, a_1 — амплітуда ($a_1 = \overline{0, k-1}$, $T_1 \neq t_{k+1} - t_k$) (рис. 1).

Клас цих функцій є замкненим відносно операцій логіко-часової диз'юнкції, логіко-часової кон'юнкції, логіко-часового додавання та логіко-часового віднімання.

Замкненість цього класу випливає із визначення вказаних операцій над ЛЧФ у випадку двійкової логіки, оскільки будь-яке значення амплітуди $a_1 = \overline{0, k-1}$ можна умовно розглядати як одиничне значення.

Клас ЛЧФ, які мають m часових координат, причому їх відрізки існування не перетинаються (рис. 2).

Позначаються такі функції $f(t, t_1, \ldots, t_m, T_1, \ldots, T_m, a_1, \ldots, a_m)$, $a_i = \overline{0, k-1}$, $i = \overline{0, m}$. Цей клас функцій є замкненим по відношенню до операцій диференціювання та нерівнозначного віднімання.

Рис. 1. ЛЧФ, що між двома нулями набуває сталого значення

Замкненість вказаного класу відносно операції диференціювання випливає з означення похідної, оскільки:

— якщо $T_i = \Delta_i$, $t_{i+1} - (t_i + T_i) \neq \Delta_i$, $i = \overline{0, m}$, то похідна лише збільшує тривалість усіх відрізків існування на Δ_i;

— якщо $T_i > \Delta_i$, $t_{i+1} - (t_i + T_i) \neq \Delta_i$, $i = \overline{0, m}$, то диференціювання в два рази збільшує кількість відрізків існування, причому T_i стають рівними Δ_i.

В обох випадках отримуємо ЛЧФ вказаного класу.

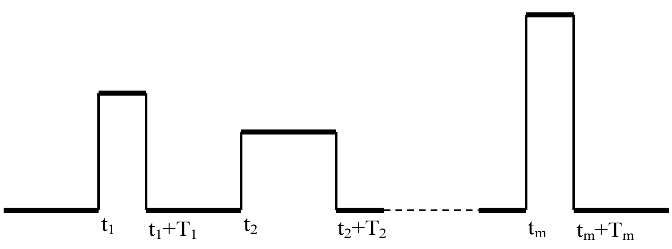


Рис. 2. ЛЧФ, що має m часових координат, відрізки існування яких не перетинаються

Для підтвердження замкненості цього класу відносно операції нерівнозначного віднімання скористаємося сьомою властивістю цієї операції. Функції $f(t,t_2,T_2,a_2)$ та $f(t,t_1,t_3,T_1,T_3,a_1,a_3)$ класу мають m часових координат, причому відповідні відрізки існування не перетинаються. Можна зробити висновок, що в результаті виконання операції нерівнозначного віднімання над скінченою кількістю ЛЧФ, які мають m часових координат, причому відрізки існування не перетинаються, ми знову отримуємо функцію даного класу.

В окремому випадку, коли $t_{i+1}-(t_i+T_i)=\Delta_i$, знову можна використати наведену властивість операції нерівнозначного віднімання. В класі ЛЧФ, що мають m часових координат, причому відрізки існування не перетинаються завжди знайдеться така функція, віднявши яку від похідної функції, для якої справедлива вказана тотожність, отримуємо знову ж таки функцію цього класу.

Клас монотонних функцій (рис. 3). ЛЧФ $f(t,t_1,\ldots,t_m,T_1,\ldots,T_m,a_1,\ldots,a_m)$ називається зростаючою (спадною) ЛЧФ, якщо часові координати, починаючи з другої, утворюються за допомогою першої часової координати та відповідних тривалостей відрізків існування $t_i=t_1+\sum_{j=1}^{i-1}T_j$, $i=\overline{2,m}$ і справедлива нерівність $a_i<a_{i+1}$ $(a_i>a_{i+1})$, $i=\overline{1,m}$. ЛЧФ

$f(t,t_1,\ldots,t_m,T_1,\ldots,T_m,a_1,\ldots,a_m)$

називається монотонно зростаючою (монотонно спадною) ЛЧФ, якщо вона є зростаючою (спадною) і справедливі рівності

$$T_i=n\Delta_i\,,\ a_{i+1}-a_i=\mathrm{const}\,,\ \mathrm{const}=a_1\ (\mathrm{const}=a_m),\ i=\overline{1,m}\,.$$

Доведено замкненість вказаного класу відносно операцій диференціювання та нерівнозначного віднімання.

Побудовано три класи функцій, кожен з яких повністю не містить жодного з решти класів, система ЛЧФ k-значної логіки повністю не міститься в жодному з цих класів (будь-яку ЛЧФ, яка не входить в жоден клас, можна отримати з функцій вказаних трьох класів). Використавши теорему А. В. Кузнецова можна зробити висновок, що система ЛЧФ k-значної логіки є повною.

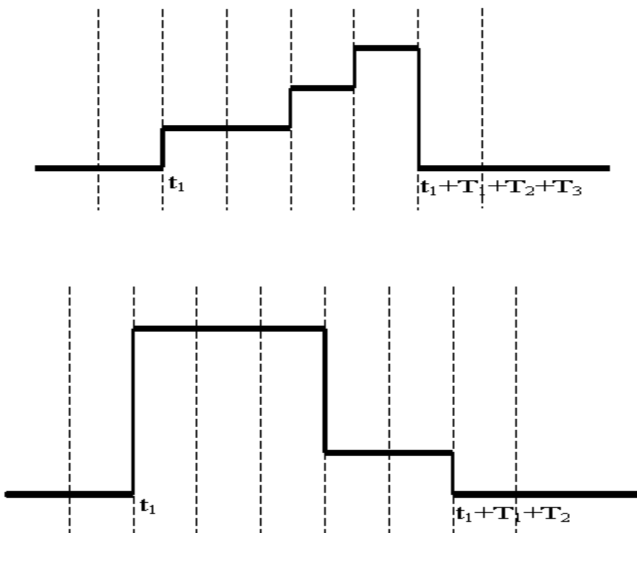


Рис. 3. Можливий варіант зростаючої та спадної ЛЧФ

Досліджено основні властивості операції диференціювання ЛЧФ двійкової та k-значної логіки, які забезпечують розроблення нових методів оброблення зображень та підвищують їх ефективність. Серед досліджених та доведених властивостей є:

— ЛЧФ та її інверсія мають рівні похідні, завдяки цій властивості з'являється можливість часткової оптимізації оброблення бінарного зображення;

— похідна від суми за модулем два ЛЧФ дорівнює сумі за модулем два похідних ЛЧФ, доведена властивість дозволяє підвищити швидкодію оброблення бінарних зображень шляхом незалежного оброблення окремих його фрагментів;

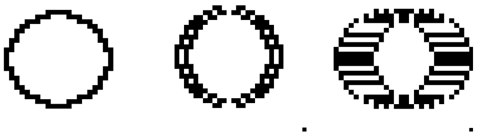
— похідна вищих порядків переходить у початкову функцію залежно від тривалості вхідного сигналу, вираженого у Δ-інтервалах (з тривалістю вхідного сигналу 2—4 Δ-інтервали четверта похідна переходить у початкову функцію, 5—8 Δ-інтервалів — восьма похідна переходить у початкову функцію і т. д.), що надає можливості розробити класифікацію ознак;

— похідна довільної ЛЧФ k-значної логіки дорівнює нерівнозначній різниці даної функції і цієї ж функції з затримкою на Δ-інтервал;

— довільна ЛЧФ k-значної логіки та її інверсія мають рівні похідні.

Всі властивості носять характер теорем.

Для підтвердження результатів дослідження було розроблено програму моделювання яка дозволяє досліджувати ЛЧФ, їх похідні та інші операції до 256-значної логіки включно на часовому проміжку, що не перевищує 1024 Δ-інтервалів. Вказані характеристики дозволяють досліджувати зображення розміром 32×32 пікселя і з кольоровою гамою максимально 256 відтінків. В основу алгоритму програми покладено теорему про апаратну реалізацію похідної ЛЧФ k-значної логіки: похідна довільної ЛЧФ дорівнює сумі за модулем два характеристичної ЛЧФ зростання та характеристичної ЛЧФ спадання. Характеристичною ЛЧФ зростання ЛЧФ $f(t, t_1, \ldots, t_m, T_1, \ldots, T_m)$ є кон'юнкція ЛЧФ та ЛЧФ інверсної до зсунутої вправо даної функції на Δ-інтервал. Характеристичною ЛЧФ спадання ЛЧФ $f(t, t_1, \ldots, t_m, T_1, \ldots, T_m)$ є кон'юнкція ЛЧФ, інверсної до заданої ЛЧФ та даної ЛЧФ з затримкою на Δ-інтервал.



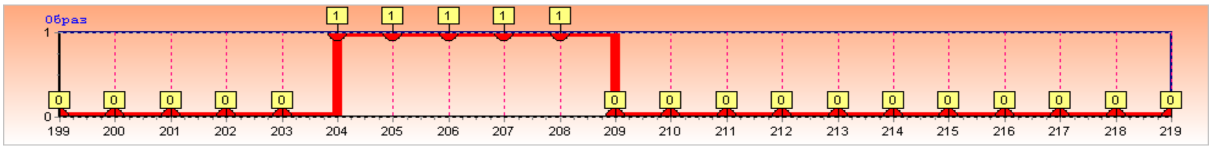
а) б) в)

Рис. 4. Результат моделювання:
а) початкове зображення,
б) друга похідна, в) сьома похідна

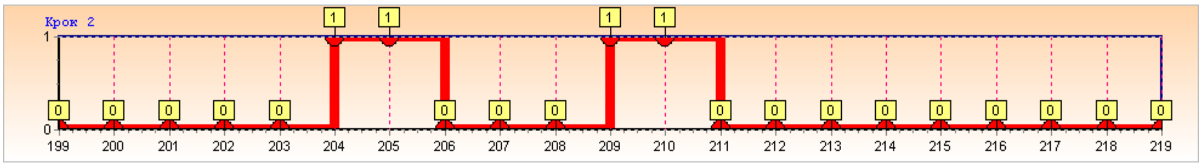
Окрім нерівнозначного віднімання програма дозволяє дослідити і варіанти «додавання» та «множення» за mod k, а також варіанти «мінімуму» та «максимуму» двох функцій: вихідної і затриманої. Причому, затримку та зсув можна робити на довільне число n Δ-інтервалів. Програма працює з файлом у форматі *.bmp.

Результат диференціювання зображення «круг» отриманого шляхом моделювання показано на рис. 4.

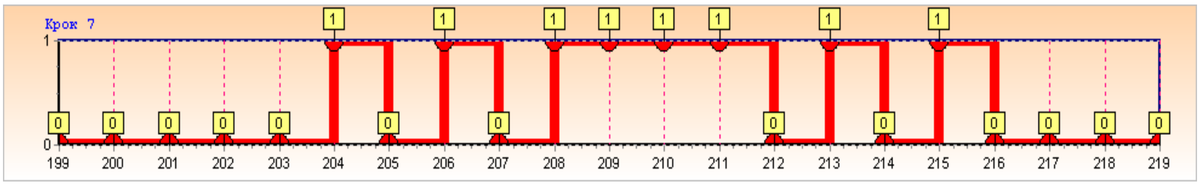
Фрагменти ЛЧФ зображення «круг» мають вигляд як на рис. 5



а)



б)



в)

Рис. 5 Фрагменти ЛЧФ: а) початкова ЛЧФ, б) друга похідна, в) сьома похідна

На базі розроблених підходів вдосконалено спосіб око-процесорного оброблення зображень. У першу чергу це стосується попереднього оброблення зображень. Для фільтрації імпульсних завад розроблено схему медіанного фільтра (рис. 6), що природно описується за допомогою ЛЧФ.

Вхідна інформація аналізується схемою управління і проходить через регістр зсуву. Розмір вікна, що використовується для визначення медіани задається схемою управління. Обчислена схемою визначення медіана, якщо вона існує в поточному вікні, заміняє центральний елемент.

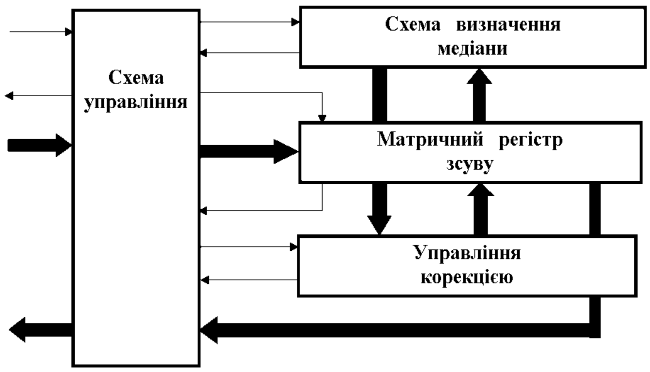


Рис. 6. Структурна схема медіанного фільтра

На основі отриманих результатів швидкого диференціювання розроблено узагальнену схему диференціювання ЛЧФ k-значної логіки (рис. 7), що дозволяє одночасно обчислювати похідні різних порядків [5]. Блоки 2, 3, 4 фактично представляють собою регістри зсуву із схемами комутації на вході та виході. Блоки 1 та 8 — схеми нерівнозначного віднімання; всією роботою керує схема 5.

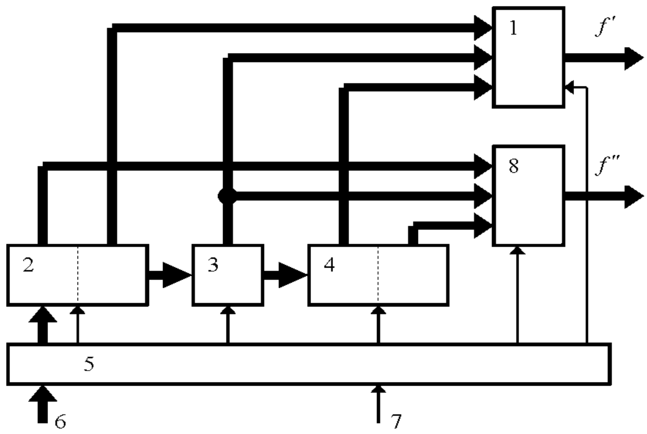


Рис. 7. Загальна функціональна схема диференціювання ЛЧФ k-значної логіки: 1, 8 – схема нерівнозначного віднімання; 2, 4 – керована дискретна схема затримки на n Δ-інтервалів; 3 – однорозрядний регістр; 5 – схема керування; 6 – вхідна; ЛЧФ; 7 – сигнали запуску і налаштування схеми

З урахуванням аналітично отриманих результатів, уточнено перетворювач параметрів зображення (рис. 8), в який уведено схеми горизонтального та вертикального диференціювання і блок попередніх ознак, де сумуються результати диференціювання.

Для порівняння ефективності отриманих результатів використано підходи, що викладені в [6].

У загальному випадку зображення розміром $N_x N_y$ пікселів розбивається для можливості паралельного оброблення на однакові фрагменти розміром $\Delta x \Delta y$.

З урахуванням такого підходу, час виконання попереднього оброблення фрагменту визначається за формулою

$$T = 2\Delta x \Delta y \tau_0 + t_0 ,$$

де 2 — коефіцієнт, що враховує необхідність фільтрації та диференціювання зображення за двома напрямками,

Δx — розмір фрагменту в пікселях по горизонталі, Δy — розмір фрагменту в пікселях по вертикалі, τ_0 — час виконання однієї елементарної операції (зсуву), t_0 — сумарний час виконання операцій фільтрації, диференціювання і формування попередніх ознак.

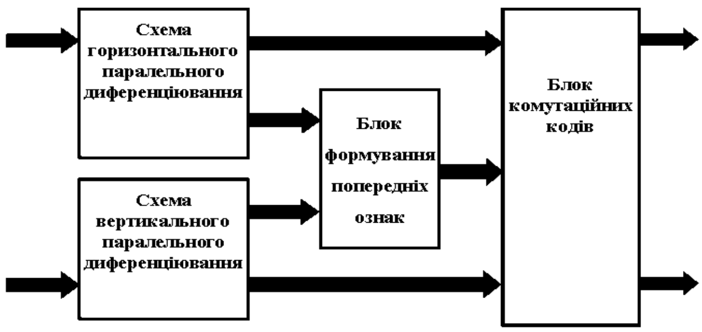


Рис. 8. Аналізатор вхідної інформації

Оскільки всі фрагменти обробляються одночасно (паралельно), то загальна продуктивність операцій за одиницю часу W визначається за формулою

$$W = \frac{1}{2\Delta x \Delta y \tau_0 + t_0} .$$

Порівнювати варіанти схем лише за продуктивністю означає оцінювати рівень їх технічної досконалості у відношенні часу виконання задачі. За критерієм ціни ефективної швидкодії [7] встановлено, що розроблені підходи мінімум у двічі ефективніші за аналог.

Висновки

1. Проведено класифікацію ЛЧФ *k*-значної логіки та доведено функціональну повноту системи цих функцій відносно операцій диференціювання та нерівнозначного віднімання, що дозволяє оптимізувати технічні засоби око-процесорного оброблення зображень.

2. Розроблено програмне забезпечення, яке дозволяє досліджувати використання різних варіантів похідних та інших функцій, для виділення ознак під час попереднього оброблення бінарних і напівтонових зображень та перевіряти практичну достовірність гіпотез.

3. Запропоновано структури елементів диференціювання, які дозволяють підвищити ефективність розпізнавання зображень за рахунок уточнення структури око-процесорного способу оброблення зображень.

4. Розроблено методи апаратного визначення похідної ЛЧФ *k*-значної логіки, як результат виконання спеціальної операції, на базі яких можлива побудова технічних засобів оброблювання зображень.

5. Розглянуто основні властивості операції диференціювання, що забезпечують розроблення нових методів оброблення зображення та підвищують їх ефективність.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Кожемяко В. П., Тимченко Л. И., Лысенко Г. Л., Кутаев Ю. Ф. Функциональные элементы и устройства оптоэлектроники. — К.: УМК ВО, 1990. — 251 с.

2. Рабинович З. Л. Основы теории элементных структур ЭВМ. -2-е изд., перераб. и доп. — М.: Радио и связь, 1982. — 280 с.

3. Кожемяко В. П., Понурая Е. И., Сачанюк Н. В. Некоторые вопросы теории взаимодействия ЛВФ // Электронное моделирование. — 2001. — Т. 23. — № 3. — С. 3 — 14.

4. Сачанюк-Кавецька Н. В. Елементи око-процесорної оброблення зображень в логіко-часовому середовищі: Автореф. дис…канд. техн. наук: 05.13.06. — Львів, 2002. — 18 с.

5. Пат 55490 Україна, МКИ 7 G06G7/18. Спосіб диференціювання логіко-часових функцій / Кожем'яко В. П., 6. Сачанюк Н. В., Понура О. І. (Україна); Заявл. 11.05.2000; Опубл. 15.04.2003; НКИ 7/14. — 3 с.

6. Специализированные ЦВМ: Учебник для вузов / Смолов В. Б., Барашенков В. В., Байков В. Д. и др.; Под ред. В. Б. Смолова. — М.: Высшая школа, 1981. — 279 с.

7. Глушков В. М. Макроэкономические модели и принципы построения ОГАС. — М.: Статистика, 1975. — 160 с.

Рекомендована кафедрою вищої математики

Надійшла до редакції 2.03.04.
Рекомендована до друку 25.11.04.

Сачанюк-Кавецька Наталія Володимирівна — доцент кафедри вищої математики
Вінницький національний технічний університет