

МАГІСТЕРСЬКА РОБОТА

МР. ШМ - 25.00.00.000 ПЗ

Група ШМ-22-2

Гальчук Богдан

2024

Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу

Інститут інформаційних технологій

Кафедра інженерії програмного забезпечення

Гальчук Богдан Ярославович

(прізвище, ім'я, по батькові)

УДК 004.942

(індекс)

МАГІСТЕРСЬКА РОБОТА

Моделі та алгоритми попередньої обробки зображень методами

контуризації

(назва роботи)

Інженерія програмного забезпечення

(назва освітньої програми)

121 - Інженерія програмного забезпечення

(шифр і назва спеціальності)

Гальчук Б.Я.

(підпис, ініціали та прізвище здобувача освітнього ступеня)

Науковий керівник **Шекета Василь Іванович, д.т.н., професор**

(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

Допущено до захисту

В.о. завідувача кафедри

доц.

Бандура В.В.

(посада) (підпис) (дата) (ініціали та прізвище)

Рецензент

доц.

(посада) (підпис) (дата) (ініціали та прізвище)

Робота містить результати власних досліджень. Використання ідей, результатів і текстів інших авторів мають посилання на відповідне джерело

Івано-Франківськ – 2024

Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу

Інститут інформаційних технологій

Кафедра інженерії програмного забезпечення

Освітній рівень магістр

Спеціальність 121 – Інженерія програмного забезпечення

ЗАТВЕРДЖУЮ:

В.о. зав. кафедрою ІІЗ

доц. В.В. Бандура

“ 04 ” вересня 2023 р.

ЗАВДАННЯ

НА МАГІСТЕРСЬКУ РОБОТУ СТУДЕНТУ

Гальчуку Богдану Ярославовичу

(прізвище, ім'я, по-батькові)

1. Тема магістерської роботи “ Моделі та алгоритми попередньої обробки зображень методами контуризації ”

керівник проекту (роботи) Шекета Василь Іванович, д.т.н., професор

затверджені наказом закладу вищої освіти від “ 18 ” грудня 2023 р. № 738/7

2. Строк подання студентом проекту (роботи) 15 січня 2024 р.

3. Вихідні дані до проекту (роботи) Теоретичні концепції та формальні моделі побудови та функціонування інформаційних та програмних технологій обробки зображень

4. Зміст розрахунково - пояснювальної записки(перелік питань, які потрібно розробити)

1. Огляд та аналіз методів попередньої обробки зображень

2. Формальний опис обґрунтування функціонального базису обробки зображень

3. Програмне забезпечення виділення контурів напівтонових зображень

4. Елементи структури попередньої обробки зображень методами контуризації

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень)

1. Розпізнавання зображень на базі виділення ознак (рис. 1.1)

2. Елементарні методи цифрової обробки зображень (рис. 1.2)

3. Розкладання зображення з використанням біртогонального вейвлет базису (рис. 1.3)

4. Схема розкладання зображення алгоритмом MSEC (рис. 1.4)

5. Контурно-фонове представлення зображення алгоритмом MSEC (рис. 1.5)

6. Консультанти розділів проекту (роботи)

Розділ	Консультант	Підпис, дата
Нормоконтроль	доц., к.т.н. Вовк Р.Б.	
Перевірка на плагіат	доц., к.т.н. Вовк Р.Б.	

7. Дата видачі завдання 04 вересня 2023 р.

Керівник _____

(підпис)

Завдання прийняв до виконання _____

(підпис)

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ п/п	Назви етапів магістерської роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1	Підбір і вивчення літератури по темі магістерської роботи	01.10.2023	виконано
2	Аналіз концепцій та алгоритмів предметної області	25.10.2023	виконано
3	Огляд та аналіз методів попередньої обробки зображень	10.11.2023	виконано
4	Формальний опис обґрунтування функціонального базису обробки зображень	22.11.2023	виконано
5	Програмне забезпечення виділення контурів напівтонових зображень	01.12.2023	виконано
6	Реалізація функціональності запропонованої інформаційної технології	15.12.2023	виконано
7	Затвердження пояснювальної записки роботи завідувачем кафедри	15.01.2024	виконано

Студент – магістр _____

(підпис)

Керівник роботи _____

(підпис)

АНОТАЦІЯ

Магістерська робота: 80 с., 35 рис., 48 джерел.

Тема: Моделі та алгоритми попередньої обробки зображень методами контуризації.

Об'єкт дослідження: методологія попередньої обробки зображень в логіко-часовому середовищі.

Мета роботи: дослідження методів та засобів підвищення швидкості обробки зображень шляхом застосування алгоритмів контуризації.

Предмет дослідження: моделі та алгоритми, які використовуються в процесі обробки зображень в логіко-часовому середовищі за допомогою методів контуризації.

Результати дослідження:

Досліджено формальний математичний апарат, як базис обробки образної інформації про зображення в логіко-часовому середовищі, що дозволяє підвищити ефективність обробки зображень, шляхом створення спеціальних схемотехнічних структур.

Висновок:

В роботі запропоновано та досліджено структури елементів диференціювання, які дозволяють підвищити ефективність розпізнавання зображень за рахунок уточнення структури око-процесорного способу обробки зображень.

ОБРОБКА ЗОБРАЖЕННЯ, ЛОГІКО-ЧАСОВІ ФУНКЦІЇ, ПРОЦЕС МОДЕЛЮВАННЯ, ІНФОРМАЦІЙНА СИСТЕМА, ДИФЕРЕНЦІЮВАННЯ ФУНКЦІЇ, ПРОЦЕС КОНТУРИЗАЦІЇ.

ABSTRACT

Master Thesis: 80 pp., 35 fig., 48 sources.

Thesis Subject: Models and algorithms for image preprocessing using contouring methods

Object of research: the methodology of pre-processing of images in a logical-temporal environment.

Research goal: the study of methods and means of increasing the speed of image processing by applying contouring algorithms.

Subject of research: models and algorithms used in the process of image processing in a logical-temporal environment using contouring methods.

The results:

A formal mathematical apparatus has been studied as a basis for processing figurative information about images in a logical-temporal environment, which allows to increase the efficiency of image processing by creating special circuit-technical structures.

Conclusion:

In the work, the structures of differentiation elements are proposed and investigated, which allow to increase the efficiency of image recognition due to the refinement of the structure of the eye-processor method of image processing.

IMAGE PROCESSING, LOGIC-TIME FUNCTIONS, MODELING PROCESS, INFORMATION SYSTEM, FUNCTION DIFFERENTIATION, CONTOURIZATION PROCESS.

ЗМІСТ

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ СКОРОЧЕНЬ	8
ВСТУП	9
РОЗДІЛ 1. ОГЛЯД ТА АНАЛІЗ МЕТОДІВ ПОПЕРЕДНЬОЇ ОБРОБКИ ЗОБРАЖЕНЬ	11
1.1 Сучасний стан інформаційних технологій обробки зображень	11
1.2 Опис векторно-перемікаючих та логіко-часових функцій як основи інформаційних систем обробки зображень	15
1.3 Порівняльний аналіз апаратів перетворення та обробки зображень	20
1.4 Аналіз існуючих методів обробки зображень	26
1.5 Висновки до розділу	34
РОЗДІЛ 2. ФОРМАЛЬНИЙ ОПИС ОБҐРУНТУВАННЯ ФУНКЦІОНАЛЬНОГО БАЗИСУ ОБРОБКИ ЗОБРАЖЕНЬ МЕТОДАМИ КОНТУРИЗАЦІЇ	35
2.1 Принципи побудови дельта-розбиття часового інтервалу	35
2.2 Дослідження процесів розпаралелювання і попередньої обробки зображень	43
2.3. Опис поняття похідної часової функції та операції диференціювання	45
2.4 Дослідження операції нерівнозначного віднімання	48
2.5 Висновки до розділу	51
РОЗДІЛ 3. ПРОГРАМНЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ТА ІМІТАЦІЙНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ПРОЦЕСУ КОНТУРИЗАЦІЇ ТА ПОПЕРЕДНЬОЇ ОБРОБКИ ЗОБРАЖЕНЬ	52
3.1 Програма виділення контурів напівтонових зображень	52

	7
3.2 Варіанти схемотехніки попередньої обробки зображень.....	62
3.3 Елементи структури попередньої обробки зображень методами контуризації	68
3.4 Оцінка ефективності отриманих результатів.....	70
3.5 Висновки до розділу.....	74
ВИСНОВКИ	75
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	76

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ СКОРОЧЕНЬ

ВПФ - векторно-часова перемикаюча функція

ВЛЗ - векторно-часова функція з логічними змінними

ЛЧФ - логіко-часова функція

БО – бінарна ознака

ВСТУП

Прогресивні інформаційні технології пов'язані із необхідністю збору та обробки великих об'ємів інформації. Саме ефективна і своєчасна обробка інформації є однією з найважливіших науково-технічних проблем створення засобів обробки зображень на рівні людського сприйняття та мислення.

Сьогодні одним із основних шляхів вирішення цієї проблеми є нарощування кількості обладнання і збільшення складності алгоритмів, що приводить до необхідності паралельної обробки інформації. Однак, більшість таких методів ефективно працюють лише для конкретно визначених типів сигналів, а це веде до необхідності додаткової обробки і адаптації методів при роботі з різними даними.

Перспективні розробки систем штучного інтелекту вимагають аналітичного опису сигналів, як можливості розвитку загальних систем обробки інформації.

Тому для усунення вказаних недоліків при розробці сучасних систем штучного інтелекту актуальними є задачі створення методів обробки 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). Оскільки як основний параметр ЛЧФ використовує час, то з'являється можливість аналітичного опису сигналів шляхом перетворення будь-якого набору вхідних даних на відповідні часові інтервали. Аналітичне дослідження таких сигналів відкриває нові можливості у створенні методів їх обробки. Одним із ефективних шляхів підвищення швидкодії око-процесорного виділення контурів зображень є використання градієнтних операторів, в яких застосовується операція диференціювання ЛЧФ.

Мета та задачі досліджень. Метою роботи є дослідження методів та засобів підвищення швидкості обробки зображень шляхом застосування алгоритмів контуризації.

Для досягнення поставленої мети вирішенню підлягали такі задачі:

- аналіз та систематизація методів математичного представлення та обробки інформації за допомогою часових функцій;
- опис формального апарату, що описує операції взаємодії функцій для обробки зображень;
- дослідження властивостей операції диференціювання часових функцій;
- проведення імітаційного моделювання обробки логіко-часових функцій.

Об'єкт дослідження – методологія попередньої обробки зображень в логіко-часовому середовищі.

Предмет дослідження – моделі та алгоритми, які використовуються в процесі обробки зображень в логіко-часовому середовищі за допомогою методів контуризації.

Методи дослідження базуються на використанні класичної математичної та булевої теорій, теорії функцій k-значної логіки, теорії логіко-часових середовищ.

Наукова новизна одержаних результатів полягає в дослідженні формального математичного апарату, як базис обробки образної інформації про зображення в логіко-часовому середовищі, що дозволить підвищити ефективність обробки зображень, шляхом створення спеціальних схемотехнічних структур.

Практичне значення одержаних результатів дає можливість аналітично описувати і досліджувати сигнали за допомогою апарату логіко-часових функцій і підвищити швидкодію око-процесорної обробки зображень не менш ніж у два рази.

Структура та обсяг роботи. Магістерська робота складається з вступу, трьох розділів, висновків та списку використаних джерел. Загальний обсяг роботи - 80 сторінок. Магістерська робота містить 35 рисунків, список використаних джерел нараховує 48 найменувань.

РОЗДІЛ 1. ОГЛЯД ТА АНАЛІЗ МЕТОДІВ ПОПЕРЕДНЬОЇ ОБРОБКИ ЗОБРАЖЕНЬ

1.1 Сучасний стан інформаційних технологій обробки зображень

При вирішенні задач розробки як автоматичних, так і автоматизованих систем управління, наука часто використовує, в якості зразку, процеси інтелектуальної діяльності людини, реалізуючи у вигляді пристроїв чи алгоритмів якісь сторони людського мислення.

Такий підхід при вирішенні складних задач найбільш раціональний тому, що на протязі мільйонів років еволюційного розвитку людина довела до високого ступеня досконалості свої можливості вирішувати задачі управління [1].

В процесі управлінської діяльності людина вивчає і аналізує ситуацію та зміни, які спонукають до прийняття того чи іншого рішення [2]. Чим частіше людині доводиться стикатись з набором стандартних змін ситуації, тим впевненіше вона виробляє та зберігає у своїй пам'яті відповідну класифікацію ситуацій, пов'язуючи з кожним класом відповідне рішення. Тобто спочатку людина оцінює ситуацію (розпізнає), що виникла.

В технічних системах управління чітко відслідковуються три етапи управління. На першому етапі вирішується задача розпізнавання ситуації чи явища, на другому – відповідно до критеріїв, приймається рішення, на третьому етапі реалізується рішення та здійснюється управління.

Таким чином, системи розпізнавання є основою побудови і функціонування автоматичних та автоматизованих систем управління практично всіх класів.

Більше половини всієї інформації людина отримує через зір. Тому обробка та розпізнавання зображень широко використовуються в різних галузях науки і техніки.

У звичайній практиці обробки зображень різноманітність розв'язуваних задач завжди перевищує можливість існуючих методів і засобів апаратної обробки. Тому створення вузько спеціалізованих систем в широкому розумінні менш ефективне, ніж створення універсального методу і універсальних засобів апаратної обробки з підвищеною адаптацією до інформаційної задачі або до варіації заводосигнальної обстановки.

Широко використовується підхід під назвою око-процесор. Згідно означенню це технічна система, яка сприймає інформацію представлену у вигляді зорового середовища довільного походження, виділяє певні ознаки середовища, обробляє виділені ознаки та приймає рішення автоматично чи за участі оператора.

Око-процесор виконує наступні операції:

1. Попередня фільтрація. Передбачається усунення шумів та слабозв'язних точок зображення, виділення вихідного зображення.
2. Зсув зображень. Тут виконується одночасний зсув на задану кількість вліво, вгору, вниз всього зображення.
3. Масштабування зображення. При цьому відбувається стискування та розширення зображення на задану величину.
4. Поворот зображення.
5. Визначення центру зображення. Під центром розуміють аналог центру мас, якщо під одиницею маси розуміти значення ij точки в просторі обраних ознак.
6. Виконання логічних операцій над зображеннями.
7. Виділення контурів зображень заданої товщини.

Необхідною особливістю око-процесора є можливість прийняття адаптивних рішень. Це зумовлено наступними причинами.

1. Різноманітність простору ознак.
2. Наявність функцій прийняття рішень, які містять вагові коефіцієнти.
3. Наявність малопередбачуваних ситуацій в умовах реального функціонування.

4. Наявність ситуацій з пороговим прийняттям рішень.
5. Функціонування в умовах апріорної невизначеності.

Подальший розвиток цієї ідеї отримав назву Q -перетворення і в решті решт привів до створення способу око-процесорної обробки зображень.

У вказаному способі око-процесорного розпізнавання зображень з виділенням ознак паралельно проектують зображення та перетворюють всі параметри об'єкта у логіко-часові функції (ЛЧФ). Обробка отриманої системи ЛЧФ відбувається одночасно по кількісним та якісним каналам. При цьому в каналах якісної обробки з ЛЧФ синтезують відповідні ознаки об'єкта, а в каналах кількісної обробки з ЛЧФ формують комутаційні коди ознак. За результатами обробки ЛЧФ формують цільовий кодер. На основі синтезованих ознак та цільового кодера формують ключову характеристичну ЛЧФ. Розпізнають зображення шляхом порівняння отриманої ключової ЛЧФ з еталонними зразками бази знань. За умови неповного розпізнавання зображення здійснюється розширення бази знань, шляхом запису отриманого результату порівняння в пам'ять бази знань в якості нового еталонного зразка та визначення найбільш близького до отриманого еталонного зразка.

Спосіб розпізнавання зображень з око-процесорним виділенням ознак здійснюється за допомогою способу паралельного складання на основі виділення спільної амплітудно-часової частини для усіх сигналів, які надходять, не залежно від їх типу. Під спільною амплітудно-часовою частиною розглядається мінімальний відрізок існування ЛЧФ з однаковою амплітудою.

Спочатку всі сигнали підлягають попередній обробці у вхідному блоці 1 (рис.1.1), під час якої відбувається перетворення сигналу у ЛЧФ. Потім виділяють одночасно декілька спільних амплітудно-часових частин, які характеризують ознаки зображення у вигляді фізичних розмірностей та якісних характеристик зображення. В блоці 2 відбувається аналіз якісних характеристик сигналів, за допомогою якого відбувається розподіл вхідної інформації на два канали: якісний канал 3 та кількісний канал 4; обробка даних в цих каналах

проводиться паралельно і в результаті отримуються ЛЧФ. Операція синтезу ознак містить в собі ієрархічне додавання згідно з ієрархічною структурою, яка формується у відповідності з конкретними вимогами, що висуваються до розпізнавання зображень.

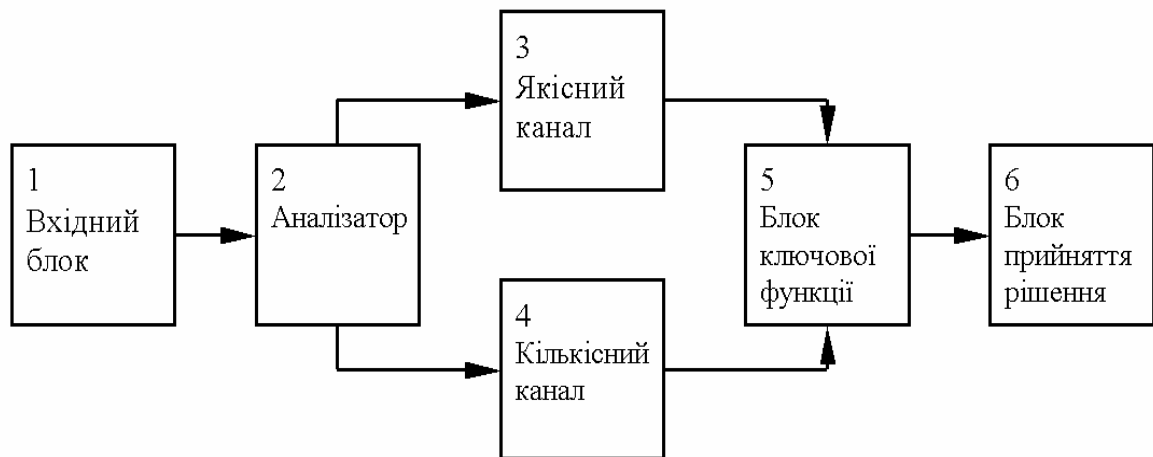


Рис. 1.1. Розпізнавання зображень на базі виділення ознак

В блоці 5 формується цільовий кодер, який в результаті виконання спеціальних операцій модифікується у ключову ЛЧФ. Кожну нову ключову ЛЧФ аналізують та порівнюють в 6-му блоці з еталонними зразками бази знань. Експериментальна ідентифікація складається з аналізу отриманої ключової функції на інформативність, визначення найбільш близького еталону з метою з'ясування типу зображення та визначення можливих варіантів розширення бази знань за ступенем наближення отриманого результату до еталону з подальшим емпіричним уточненням.

Розпізнавання зображення відбувається на якісно новому рівні шляхом генерації неявно виражених ознак з організацією еволюціонуючої бази знань та врахуванням впливу цих ознак одна на одну та на вихідну функцію, яка може описувати характеристики реального об'єкта, незалежно від типу вхідного сигналу. В якості такої функції використано логіко-часову функцію (ЛЧФ).

1.2 Опис векторно-перемикаючих та логіко-часових функцій як основи інформаційних систем обробки зображень

Коротко розглянемо властивості апарату векторно-часових перемикаючих функцій (ВПФ), який є спеціальною мовою для опису та проектування схем переробки інформації на рівнях операцій над цифрами. В основу ВПФ покладені звичайні перемикаючі функції, що дозволяє зберегти та використовувати методи перетворення булевих функцій. Головною перевагою ВПФ є відображення фактору часу у перемикаючих функціях. Для цього використовуються наступні засоби:

- локалізація в часі логічних величин шляхом присвоювання їм відрізків існування;
- введення спеціальних операцій для перетворення вказаних відрізків;
- представлення функцій від різночасових аргументів.

Дані засоби є достатніми для досягнення поставленої мети – описання системами алгебраїчних виразів повних схем цифрових автоматів та процесів їх описання.

Всім логічним величинам надаються відрізки існування, які позначаються координатами t_i при аргументах. Ці відрізки ототожнюються з тривалостями інформаційних сигналів, що відображують логічні величини. Поза цими відрізками довільна величина може бути лише константою. Функція F визначається на області, яка містить відрізки існування усіх її аргументів. Наприклад, $F = F(x_{t_1 \dots t_2}, y_{t_1 \dots t_2, t_5 \dots t_6}, z_{t_3 \dots t_4}, u_{t_5 \dots t_7, t_8 \dots t_9})$, де відрізки існування значень однієї і тої ж змінної (x, y, z, u) обов'язково не перетинаються і ці значення мають бути незалежними, причому індекси часових координат можуть бути виразами. Кожному набору значень аргументу відповідає вектор значень функцій, розташованих вздовж певного відрізка часу. Цей відрізок називається відрізком існування функції. Відмітимо, що відрізок існування може співпадати з періодом визначення функції (для нашого прикладу $t_1 \dots t_9$), але не може

початись раніш ніж t_1 . Кожне значення функції може залежати лише від тих аргументів, відрізки існування яких починаються не пізніше за відрізок існування даного значення аргументу.

Алгебра ВПФ містить операції двох класів: логічні, що зберігають час існування аргументів (аналогічні булевим) та спеціальні, які змінюють часові координати аргументів. До основних операцій першого класу відносяться:

- диз'юнкція

$$x_{t_1 \dots t_2} \vee y_{t_3 \dots t_4} = 0 \rightarrow (x)_{(\tau_x)} \rightarrow (x \vee y)_{(\tau_{x,y})} \rightarrow (y)_{(\tau_y)} \rightarrow 0$$

- кон'юнкція

$$x_{t_1 \dots t_2} y_{t_3 \dots t_4} = 0 \rightarrow (xy)_{(\tau_{x,y})} \rightarrow 0$$

- інверсія

$$\bar{x}_{t_1 \dots t_2} = 1 \rightarrow (\bar{x})_{(\tau_x)} \rightarrow 1$$

Для опису ВПФ використовується особливий запис - у вигляді послідовностей їх виразів, що є справедливими лише на певних відрізках часу. В дужках записані значення функцій за допомогою булевих функцій та часові відрізки існування цих функцій τ_x та τ_y , на протязі яких x та y існують окремо, $\tau_{x,y}$ - часовий відрізок сумісного існування аргументів x та y .

Для операцій даного класу справедливі всі тотожності, аналогічні тотожностям перемикаючих функцій. Окрім цього, мають місце тотожності ВПФ, справедливі для перемикаючих функцій лише на деяких підмножинах наборів аргументів. Наприклад, $x_{t_1} y_{t_1} \vee z_{t_2} u_{t_2} = (x_{t_1} \vee z_{t_2}) (y_{t_1} \vee u_{t_2})$, де для спрощення запису позначені лише початкові часові координати змінних за умовою рівності та відсутності перетинів відрізків їх існування. Якщо, ігноруючи часові координати, вважати даний запис булевим, то ця тотожність є справедливою для всіх наборів, окрім тих, що містять попарні одиничні

значення x та u або z та y . Але, враховуючи операцію інверсії, попарне існування саме цих значень аргументів неможливе. Тобто тотожність справедлива.

Операції другого класу необхідні для утворення функцій від змінних, які зображуються різночасовими сигналами і є засобами зсуву в часі та запам'ятовування значень сигналів. До основних операцій другого класу відносяться:

- затримка (на час τ) $x_{t_1 \dots t_2} = 0 \rightarrow (x)_{(t_1+\tau) \dots (t_2+\tau)}$;
 $\rightarrow \tau$
- статичне запам'ятовування

$$L(x_{t_1 \dots t_2}, y_{t_3 \dots t_4}) = 0 \rightarrow \begin{cases} (x)_{t_1 \dots [t > t_4]}, \text{ якщо } y_{t_3 \dots t_4} = 0, \\ (x)_{t_1 \dots t_3}, \text{ якщо } y_{t_3 \dots t_4} = 1 \end{cases}$$

- динамічне запам'ятовування (з періодом τ)

$$L(x_{t_1 \dots t_2}, y_{t_3 \dots t_4}) = 0 \rightarrow (x)_{[t_1+k\tau] \dots [t_2+k\tau]},$$

$$\text{де } k = \begin{cases} 1, 2, \dots, \text{ якщо } y_{t_3 \dots t_4} = 0 \\ 1, 2, \dots, \left[\frac{t_3}{\tau} \right], \text{ якщо } y_{t_3 \dots t_4} = 1, \tau > t_2 - t_1 \end{cases}$$

- додавання та статичне запам'ятовування

$$L(x_{[t < t_1] \dots t_2} \oplus y_{t_1 \dots t_2}) = (x)_{[t < t_1] \dots t_2} \rightarrow (x + y)_{t_2 \dots [t > t_2]} \pmod{2}$$

- додавання та динамічне запам'ятовування (з періодом τ)

$$L_\tau(x_{[t < t_1] \dots t_2} \oplus y_{t_1 \dots t_2}) = (x)_{[t < t_1] \dots t_2} \rightarrow (x + y)_{[t_1+k\tau] \dots [t_2+k\tau]}, k = 1, 2, 3, \dots, t > t_2 - t_1. \pmod{2}$$

Операція затримки є одномісною. Це означає, що зсув відрізка існування аргументу (тобто інформаційного сигналу) відбувається без зміни

його тривалості. Решта операцій двомісні. Операції статичного та динамічного запам'ятовування не мають властивості комутативності. Операція статичного запам'ятовування збільшує кінцеву часову координату аргументу на час, який залежить від другого аргументу. Операція динамічного запам'ятовування є періодичним зсувом (повтором із заданим періодом) відрізка існування першого аргументу з циклічністю, яка залежить від другого аргументу. Операція додавання та статичного запам'ятовування реалізується як додавання по модулю два попередньо зафіксованого аргументу з новоприбулим та статичне запам'ятовування результату. Причому початкова часова координата кінцевого стану співпадає з кінцевою часовою координатою другого аргументу. Така властивість зумовлює одноразову дію другого аргументу на результат незалежно від тривалості відрізка існування. Недоліком розглянутого способу є врахування фактора часу без зв'язку значень аргументів функції з періодом існування аргументу, оскільки в апараті ВПФ відрізок існування аргументу – це тривалість інформаційного сигналу, яка не визначає тривалість цього аргументу.

Подальший розвиток апарат ВПФ отримав в роботах по логіко-часовому середовищі. Відмітимо, що в логіко-часових середовищах всім величинам надаються часові інтервали існування T_i , які ототожнюються з тривалістю інформаційних сигналів. Для аналізу цих середовищ найбільш уживаним є апарат логіко-часових функцій (ЛЧФ) [44], який оперує з величинами, що безперервно змінюються. ЛЧФ враховують не тільки фактор часу, а й той факт, що значення аргументів функції визначаються періодом існування аргументу T_i . Оскільки мова йдеться про логіко-часову функцію, то в даному випадку зберігаються властивості логічних функцій та операцій над ними і з'являється можливість введення нових, спеціальних операцій.

Векторно-часовими логічними змінними (ВЛЗ) називаються такі векторні функції часу, які можуть набувати значення від нуля до M на деяких фіксованих часових відрізках, що називаються відрізками існування змінних, вздовж яких розташовані векторні функції, рівні нулю на решті відрізках.

Моменти початку часових інтервалів існування називаються часовими координатами змінних і позначають – t_i , а тривалість проміжку існування позначають через T_i .

Функції довільного скінченного числа ВЛЗ, що набувають на проміжку від нуля до M послідовність поточних значень, які залежать від всіх поточних значень змінних в межах деякого часового інтервалу називають логіко-часовими функціями.

Наприклад, елементарна ЛЧФ, область визначення якої складається лише з одного відрізка існування має вигляд:

$$f(t, t_1, T_1) = \begin{cases} t - t_1, & \text{якщо } t_1 < t \leq t_1 + T_1 \\ 0, & \text{якщо } t_1 + T_1 < t \leq t_1 \end{cases},$$

де t – поточне значення параметра.

Даний спосіб дозволяє проводити одночасну обробку всієї вхідної інформації та створювати різноманітні системи неявно виражених визначників зображення різних типів.

Операції ЛЧД та ЛЧК це є операції порівняння, оскільки ЛЧД – це виділення максимального значення ЛЧФ, а ЛЧК – мінімального значення ЛЧФ. Очевидно, що виділення максимального та мінімального значень ЛЧФ є операціями логіко-часового порівняння.

Оскільки за носія інформації ЛЧФ використовує час, то з'являється можливість перетворення будь-якого набору вхідних сигналів на часові інтервали і отримання шляхом певної обробки на виході пристрою деякого інтегрального показника, за допомогою якого можна ідентифікувати як стаціонарні зображення, так і об'єкти в динаміці.

Недоліком вказано апарату є те, що він розроблений лише для ЛЧФ, які мають єдиний відрізок існування, причому мається на увазі, що мова йде лише про функції двійкової логіки. А відомо, що реальний сигнал може складатись з

довільної кількості відрізків існування і мати довільну амплітуду на кожному з цих відрізків.

1.3 Порівняльний аналіз апаратів перетворення та обробки зображень

Відомо, що велика частина інформації про об'єкт зосереджена в змінах інтенсивності (яскравості) при переході від пікселя до пікселя, тобто в контурах елементів. Перехід від напівтонового зображення до контурного не викликає ніяких складностей.

Переважно, для скорочення багатотонового зображення до контурного рисунка, використовують математичну операцію згортки. Операція згортки замінює багатотонове зображення, що складається з матриці змін освітленості на елементах сцени, на представлення зображення у вигляді швидкості зміни освітленості на елементах цієї ж сцени. Це суттєво зменшує опис зображення, зводячи його до контурного представлення, оскільки значення світлового потоку переважно змінюється найшвидше на краях об'єктів.

При реалізації операції виділення локальних об'єктів користуються двома методами для отримання контурів: пороговий метод і метод масок.

Порогове розділення є методом, який досить широко використовується, оскільки легко реалізується технічно і має високу швидкодію. Основна ідея розділення по порозу полягає в розбитті зображення на окремі зони, що володіють однаковими властивостями. Елементи зображення, що мають яскравість вищу від деякого порогу, вважаються частиною об'єкта, а ті, що мають яскравість нижчу від цього порогу – фоном.

Для багатотонового зображення, в яких різниця між об'єктом і фоном не є чіткою, для їх розділу використовуються більш складні алгоритми пошуку неоднорідностей або великих змін в яскравості зображення. Найчастіше для пошуку неоднорідностей використовують маски, які дозволяють проводити одночасне обстеження невеликої групи елементів растру. Принцип цієї обробки

полягає в пересуванні маски по всій області зображення із сприйняттям інформації одночасно від групи елементів і обчисленням для кожної групи значень, що пропорційні неоднорідностям, розміщеним під маскою.

Найбільш широко використовуються маски, сформовані градієнтними операторами, які виявляють певні типи неоднорідностей в зображенні. Перевага даних операторів у простоті реалізації. Але існують інші способи виділення границь областей, контурних ліній та їх обробки.

Нехай обробці підлягає деяке зображення $V(x, y)$. Області різкої зміни яскравості даного зображення можна відшукати по локальних максимумах модуля градієнта функції яскравості або по точках, де другі похідні перетинають нульовий рівень і змінюють знак. Оператор з найбільш вузьким околom є абсолютно неефективним. В таких випадках для виділення перепадів в широкому діапазоні змін яскравості використовують диференціальні оператори та оператори співставлення.

Оператори просторового диференціювання базуються на обчисленні градієнта функції яскравості $V(i, j)$ за допомогою числових формул. Ці оператори потребують меншого числа дій, ніж оператори співставлення.

Оператори співставлення основані на обробці елементів зображення сукупністю масок, які представляють собою ідеальні обмеження в різних напрямках.

Високоякісне виділення контурів можна отримати використовуючи диференціальний оператор Марра-Хілдрета, який реалізує деякий диференціальний оператор, що вираховує першу або другу просторову похідну зображення, та налаштовується на роботу на необхідному масштабному рівні. Необхідний масштабний рівень надає можливості операторам, які призначені для обробки великих фрагментів зображення, виявляти границі на розмитих, затемнених ділянках зображення, а оператори, які призначені для обробки малих фрагментів зображення – для виявлення малих елементів зображення на його добре сфокусованих ділянках. Використання даного оператора дає економічність обчислювальної процедури. Використання операторів, що

реалізують обчислення похідних першого і другого порядку по напрямку, породжують додаткові затрати, оскільки оператори є направленими. Для уникнення додаткових обчислювальних затрат потрібно використовувати оператор, який не залежить від напрямку. Ізотропним диференціальним оператором найнижчого порядку є лапласіан, який можна використовувати для виявлення змін яскравостей зображення.

Окрім того, для виділення характерних ознак зображення використовуються двомірні елементарні перетворення.

Дискретне двомірне перетворення Фур'є матриці відліків зображення визначається у вигляді ряду
$$F(u, v) = \frac{1}{N} \sum_{j=0}^{N-1} \sum_{k=0}^{N-1} F(j, k) \exp\left(-\frac{2\pi i}{N}(uj + vk)\right).$$

Базисними функціями перетворення є експоненти з комплексними показниками, які можна розкласти на синусну та косинусну складові.

Перевагою синусоїдальних функцій, в порівнянні з прямокутними імпульсами, є наявність двох параметрів – фази та частоти. Це означає, що синусоїдальні функції різних частот мають різні форми. Однак при використанні синусоїдальних функцій енергія сигналу, дорівнює сумі енергій синусоїдальних функцій, що апроксимують сигнал. Таке збереження енергії не є достатнім для точної передачі інформації. По суті двомірний спектр Фур'є є представленням двомірного поля з періодичною структурою ряду Фур'є. Перетворення Фур'є має суттєві недоліки: всі обчислення проводяться з комплексними числами, ряди повільно збігаються, завдяки стрибкам зображення. Ці розриви призводять до появи в спектрі великих складових з високими просторовими частотами.

Перетворення Адамара базується на квадратній матриці Адамара, елементи якої дорівнюють плюс чи мінус одиниці, а рядки та стовпці утворюють ортогональні вектори. Рядки матриці Адамара можна розглядати як послідовність відліків прямокутних періодичних коливань, період яких кратний величині, оберненій до порядку матриці.

Для обробки інформації часто використовують функцію Уолша

$$\text{wal}(0, \theta) = \begin{cases} 1, & -\frac{1}{2} \leq \theta < \frac{1}{2} \\ 0, & \theta < -\frac{1}{2}, \theta \geq \frac{1}{2} \end{cases},$$

де $\theta = \frac{t}{T}$, t – поточне значення часу,

T – тривалість часового інтервалу.

На відміну від синусоїдальних функцій в результаті виконання операцій зсуву, стискування та розтягування отримуються нові функції. Продиференційована функція Уолша складається з додатного прямокутного імпульсу для кожного додатного стрибка, або від'ємного імпульсу – для від'ємного стрибка та проходить нуль після кожної зміни імпульсу. На відміну від синусоїдальних функцій, що розглядаються на нескінченному інтервалі відомі характеристики при впливі на них лінійними інваріантними в часі операторами, функції Уолша мають характеристики подібні до лінійних, діадно-інваріантних в часі операторів. Саме ця інваріантність в часі не вимагає розглядання нескінченного інтервалу, а значить і введення математично абстрактних нескінченно довгих проміжків. Перша похідна по часу від функції Уолша часто використовується в системах передачі електромагнітних хвиль. Функція Уолша є більш зручною для розрахунків, але менш підходить для вимірювань. Для вимірювань необхідно знати довжину інтервалу T та положення його початку. Окрім цього, в проміжку між точками перетину нуля функція Уолша має постійне значення і тому не несе ніякої інформації.

Перетворення Хаара, яке базується на ортогональній матриці Хаара, можна розглядати як процес дискретизації вихідного сигналу, при якому з переходом до наступного рядка в двічі зменшується крок дискретизації. Хааровський спектр описує розподіл енергій компонент, що відповідають різницям яскравостей сусідніх елементів, взагалі, різницям середніх значень яскравостей сусідніх груп.

В загальному випадку, для унітарного перетворення матриці зображення $N \times N$ елементів, необхідно отримати матрицю $N \times N$ спектральних

коефіцієнтів і виконати N^4 арифметичних операцій типу множення та додавання. Якщо розміри зображення великі, то число операцій стає перебільшено великим. Для унітарних двомірних перетворень існують ефективні алгоритми швидкого виконання обчислень.

Всі розглянуті методи носять алгоритмічний характер і практично не дозволяють аналітично дослідити поведінку зображення при тих чи інших умовах. У багатьох випадках, пов'язаних з обробкою чи проектуванням цифрових схем, необхідно описати процес алгебраїчними виразами, що враховують часові особливості сигналу (зображення).

В зв'язку з інтенсивним розвитком на початку 60-х років потенціально-імпульсної схемотехніки обчислювальних машин виникла необхідність в методах синтезу схем, що враховують час.

Розглянуті вище двомірні унітарні перетворення хоч і мають відносно прості алгоритми швидкого обчислення, по своїй суті є значно складнішими за градієнтні оператори. Використання цих перетворень в око-процесорних схемах не можна вважати перспективним. Градієнтні оператори фактично представляють собою те чи інше диференціювання.

Оскільки зображення, що підлягають обробці, легко зводяться до бінарних, доцільно розглянути булеві похідні.

Булева похідна функції алгебри логіки $f(X) = f(x_1, \dots, x_i, \dots, x_n)$ по змінній x_i ($i = \overline{1, n}$) визначається у вигляді

$$\frac{\partial f(X)}{\partial x_i} = f(x_1, \dots, x_i, \dots, x_n) \oplus f(x_1, \dots, \overline{x_i}, \dots, x_n).$$

Оператор $\frac{\partial f(X)}{\partial x_i}$ називається оператором булевої різниці.

Фізичний зміст булевої похідної по змінній полягає у визначенні факту зміни чи постійності значення булевої функції при зміні значення цієї змінної на протилежне. Слід відмітити, що булева похідна безпосередньо пов'язана з аналізом комбінаційних схем, зокрема з дослідженням їх чутливості по входу.

Сформулюємо деякі властивості булевої похідної по змінній.

- Булева похідна не залежить від змінної.
- Булева похідна по змінній x_i другого порядку дорівнює нулю.
- Функція алгебри логіки не залежить від змінної x_i , якщо значення булевої похідної по цій змінній дорівнює нулю.
- Значення булевої похідної на наборах $x_1, \dots, x_i, \dots, x_n$ та $x_1, \dots, \overline{x_i}, \dots, x_n$ рівні між собою.

Оператор булевої похідної по m змінних x_1, x_2, \dots, x_m визначається наступним чином:

$$\frac{\partial^{(m)} f(X)}{\partial x_1 \partial x_2 \dots \partial x_m} = \frac{\partial}{\partial x_1} \left(\frac{\partial}{\partial x_2} \dots \left(\frac{\partial f(X)}{\partial x_m} \right) \dots \right).$$

Булева похідна по вектору змінних відображає факт зміни чи сталості булевої функції алгебри логіки n змінних $f(X) = f(x_1, \dots, x_n)$ при одночасній зміні значень будь-яких $m \leq n$ змінних на протилежні. Групу цих елементів позначають $X^{(i)} = (x_{i_1}, x_{i_2}, \dots, x_{i_m})$, причому $i_1 < i_2 < \dots < i_m$. Зрозуміло, що булева похідна по змінній x_i є частинним випадком булевої похідної по вектору змінних. В задачах діагностики комбінаційних схем (наприклад, при контролі справності компонента схеми, вихід $g(X_1)$ якого не можливо спостерігати) використовується булева похідна функції $f(X)$ по функції $g(X_1)$.

Припустимо, що в структурі функції алгебри логіки можна виділити функцію $g(X_1)$. Тоді булева похідна по функції $g(X_1)$ відображає характер поведінки функції $f(X)$ при зміні значення функції $g(X_1)$ на протилежне:

$$\frac{\partial f(X)}{\partial g(X_1)} = f(g(X_1), X) \oplus f(\overline{g(X_1)}, X).$$

Булеві похідні використовуються при діагностиці та контролі комбінаційних схем, при аналізі та синтезі схем, при розпізнаванні належності функції алгебри логіки замкнутому класу, при розв'язанні задач кодування та декодування.

Існують ще диференціальні оператори, керовані по параметру. Ці оператори призначені для обробки матриці бінарних даних і є основою для побудови складних керованих процедур, зокрема стиснення, розтягування та мультиплікації. В багатьох випадках існує можливість відновлення вихідної структури бінарних даних за результатами перетворення. Ця властивість використовується при побудові обчислювальних процесів в умовах обмеженості пам'яті.

Параметрична булева похідна визначається як

$$\frac{\partial f(X)}{\partial(\tau X)} = f(X) \oplus f(X + \tau),$$

де τ - параметр, який задає величину зміни X .

Вона встановлює факт зміни значення функції $f(X)$ при зміні аргументу X на параметр τ .

Булеві похідні з параметром використовуються при аналізі та синтезі двійкових автоматів, при виявленні динамічних помилок в автоматах, при обробці та синтезі бінарних зображень.

Розглянута вище теорія диференціювання булевих (бінарних) функцій не враховує час, за винятком параметричної похідної, де дискретний час частково враховується.

1.4 Аналіз існуючих методів обробки зображень

Основні просторові методи цифрової обробки зображень, на поєднанні яких базуються більшість відомих алгоритмів у конкретних приладах,

представлені на рис. 1.2. Ці методи головним чином є проблемно-орієнтованими.



Рис. 1.2. Елементарні методи цифрової обробки зображень

Найпростішим просторовим методом є перетворення зображення в негатив.

Такий тип обробки зображення є особливо ефективним для посилення білих або сірих деталей на фоні темних областей для покращення візуального сприйняття, коли темні області мають порівняно великі розміри. Цей метод доцільно використовувати для полегшення аналізу знімків у медицині.

Логарифмічне перетворення змінює яскравість пікселів зображення за логарифмічним законом. Особливість логарифмічного перетворення полягає в здатності стискати динамічний діапазон зображень, які містять значні варіації

значень сигналів пікселів. Отже, цей метод варто застосовувати у випадках значних перепадів яскравості у межах одного зображення для покращення видимості деталей для візуального сприйняття.

Степеневе перетворення, як і логарифмічне, при невеликому значенні показника відображають вузький діапазон невеликих значень яскравості в широкий діапазон і стискають діапазон великих значень яскравості. Проте завдяки існуванню цілого сімейства кривих степеневого перетворення метод має більше можливостей. Степеневе перетворення використовується для гамма-корекції при виводі зображення на дисплей пристроїв з електронно-променевою трубкою. Взагалі даний метод є універсальним для покращення візуального сприйняття зображення керуванням контрастом і має бути застосований в медицині, для обробки знімків з космосу тощо.

Зміст кусково-лінійного перетворення полягає у тому, що різні діапазони яскравості розтягуються або стискаються за різними законами. Головною перевагою є можливість формування дуже складної функції перетворення. Проте дане перетворення потребує завдання великої кількості параметрів, що не завжди зручно. Крім того, функція повинна монотонно зростати і залишатися однозначною для виключення можливості появи помилкових деталей на зображенні. Застосовувати кусково-лінійне перетворення, як і в попередньому випадку, доцільно для посилення контрасту знімків та інших зображень, призначених для візуального сприйняття.

Обробка гістограм є основою для численних методів просторової обробки, також є корисною для розв'язання задач стискання та сегментації, тобто розділенні зображення на області по певним критеріям, і містить чимало операцій над гістограмами зображення. Гістограмна обробка є простою і для програмної, і для апаратної реалізації, тому є зручною для застосування в алгоритмах для обробки зображень в реальному часі. Використовуючи інформацію, яка міститься в гістограмі, можна знайти функцію перетворення для досягнення найкращого контрасту для візуального сприйняття, що може бути реалізовано простим обчисленням [6]. Отже, гістограми як інструмент

обробки зображення доцільно використовувати для забезпечення функціонування приладів у масштабі реального часу та для забезпечення автоматизації покращення зображення.

Також методи цифрової обробки зображень взагалі і обробка гістограм зокрема можуть бути здійснені локально, тобто відносно певного елемента зображення. Крім того, зручно знаходити статистичні параметри з локальних гістограм. Локальні математичне сподівання і дисперсію використовують для локальної обробки зі зміною контрасту, яку доречно застосовувати для зображень, на яких якість однієї частини задовільна, а інша може містити непомітні необхідні деталі. Головним чином подібні проблеми постають при розробці приладів, які формують зображення для подальшого сприйняття оператором, або при покращенні знімків у різноманітних галузях.

1.4.1. Застосування арифметично-логічних операцій для обробки зображень

Арифметико-логічні операції – це поелементні перетворення над двома або більше зображеннями. Залежно від апаратного і програмного забезпечення арифметико-логічні операції в приладі можуть здійснюватися послідовно та паралельно (тобто всі елементи одночасно). Серед логічних операцій достатньо забезпечити можливість реалізації AND, OR та NOT, оскільки будь-яка інша операція може бути здійснена комбінацією вказаних операцій. Логічні операції AND та OR використовуються для маскування, тобто виділення частини зображення з метою ізолювання необхідної області обробки.

Порогова обробка здійснюється порівнянням значення яскравості кожного пікселя з певним розрахованим значенням – порогом. Порогову обробку покладено в основу процесу просторового виділення цілі на фоні. Просторове виділення допомагає підкреслити малорозмірні деталі, тому цей процес може стати складовим алгоритму пошуку точкової цілі на атмосферному фоні.

З арифметичних операцій найчастіше застосовують віднімання та додавання. При відніманні зображень деталі, які відрізняються на зображеннях набувають підвищеного контрасту. Знаходження різниці зображень широко застосовують при сегментації часовій обробці, тобто виявленні змін в сусідніх кадрах, розділених певним проміжком часу, а також для виявлення рухомої цілі.

У результаті на отриманому зображенні – різниці послідовних у часі зображень залишаються тільки рухомі елементи та шум. На практиці така процедура ускладнюється проблемами можливості реєстрації зображень у приладі та залишкового шуму.

В іншому алгоритмі, який називають тимчасовим, рух цілі визначають за збільшенням інтенсивності випромінювання у порівнянні з постійною інтенсивністю фону. Такий спосіб варто застосовувати у приладах з функцією виявлення цілі на великій відстані з використанням декількох спектральних діапазонів.

Операція усереднення зображення полягає в сумуванні серії зображень і використовується для зменшення рівня шуму. На практиці серію зображень отримують у процесі накопичення з метою зменшення впливу розфокусування чи інших спотворень. Метод доцільно використовувати для обробки знімків, отриманих при малому рівні освітленості і, як результат, високому рівні шуму датчика, проте оскільки в деяких сучасних приймачах застосовується аналогічна операція інтегрування, він не набув широкого розповсюдження.

1.4.2. Алгоритми із застосуванням просторової фільтрації, результати та їх аналіз

Ефективний результат можна отримати, застосовуючи медіанний фільтр. Перевагою фільтра є менший ефект розфокусування при достатній ефективності. Даний метод доречно застосовувати для обробки зображень при необхідності суттєвого зменшення рівня імпульсного шуму і при

недопустимому розфокусуванні. Проте застосування нелінійної операції є недоліком цього фільтра.

Просторовий фільтр згладжування (низькочастотний) надає зображенню ефект розфокусування і дозволяє створити грубий образ об'єкта. Найбільш ефективним є його використання разом з пороговою обробкою при необхідності видалення із зображення дрібних деталей, наприклад перед виявленням більших об'єктів. З цією метою фільтр доцільно використовувати у багатьох приладах, однією з функцій яких є виявлення або пошук яскравих об'єктів на порівняно невеликій відстані. Проте недоліком даного методу є розфокусування контурів у зображеннях, які в подальшому підлягають розпізнаванню, що обмежує його використання. Розглянутий фільтр є ефективним також для згладжування помилкових контурів, що з'являються при перетворенні зображень з недостатньою кількістю рівнів.

Просторові фільтри підвищення різкості (високочастотні) використовуються для підкреслення дрібних деталей, підсилення розривів на зображенні. Фільтри, які застосовують першу похідну, дозволяють отримати товсті виділені контури і менше виділення дрібних деталей, а фільтри із використанням другої похідної – отримати тонкі виділені контури і значне підсилення дрібних деталей і шумів. До того ж похилі контури використання другої похідної подвоює. Для більшості приладів ефективнішим є застосування фільтра, який базується на другій похідній. При необхідності відновити фон отримане після фільтрації зображення додають до початкового. Ця операція дозволяє застосовувати такий фільтр для розв'язання ширшого кола завдань. Фільтр із застосуванням першої похідної дозволяє підкреслити дрібні неоднорідності на однорідному сірому фоні. Такий фільтр доцільно використовувати не тільки для покращення візуального сприйняття зображень, але й для спрощення задачі автоматичного контролю наявності дефектів оптичних деталей.

Просторову фільтрацію можна виділити в окремий напрям у цифровій обробці зображень. Один з алгоритмів із застосуванням просторової фільтрації

складається з нелінійної просторової обробки та порогової обробки для підкреслення малорозмірної цілі на неоднорідному фоні. Недоліком такого алгоритму є необхідна умова перевищення яскравості зображення цілі над флуктуаціями фону. Перевагою в цьому випадку є можливість застосування алгоритму в системах автоматичного виявлення точкової цілі.

Інший алгоритм базується на високому значенні кореляції сусідніх пікселів для фону і його зниженні при наявності цілі, на основі чого створюється оптимальний просторовий фільтр з мінімальною середньою квадратичною похибкою. Як наслідок, при застосуванні порогової обробки отримують бінарне зображення, яке не тільки спрощує зорове сприйняття, але, крім того, може використовуватися для автоматичного виявлення без участі оператора. Перевагою алгоритму також є простота, але при реалізації у конкретних приладах він має певні недоліки.

Метод стиснення зображень за допомогою багато масштабної компенсації контурів (Multi Scale Edge Compensation - MSEC), який є істотною модернізацією вейвлет стиснення, заснованого на швидкому алгоритмі Маала. MSEC - метод можна віднести до техніки кодування зображень другого покоління, яка ґрунтується на інтелектуальних методах сегментації і автоматичної класифікації зображень.

Для вейвлет перетворення реалістичних зображень, коли вхідний сигнал має два індекси, тобто представляє собою матрицю, одномірне вейвлет перетворення застосовується спочатку до кожного рядка, а потім до отриманих стовпчиків. Це ілюструє рис.1.3.

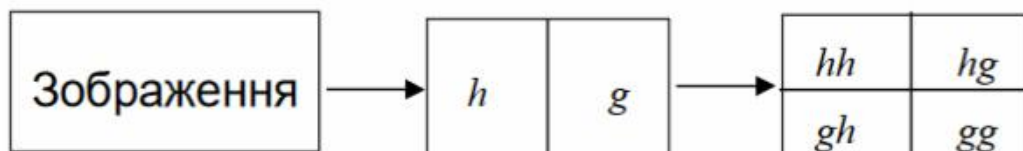


Рис. 1.3. Розкладання зображення з використанням біортогонального вейвлет базису

Алгоритм розкладання зображень реалізований в схемі кодування зображень одним фільтром (h) і компенсацією контурів в площині вейвлет коефіцієнтів (MSEC), схематично представлений на рис. 1.4 та 1.5.

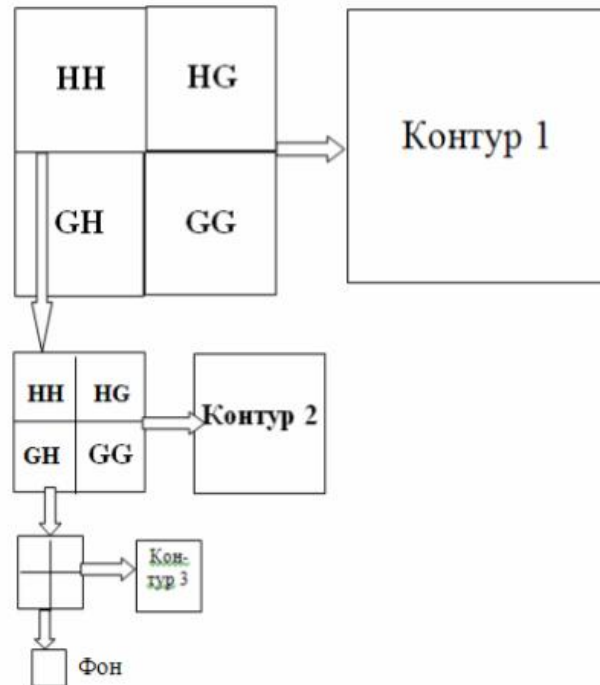


Рис. 1.4. Схема розкладання зображення алгоритмом MSEC

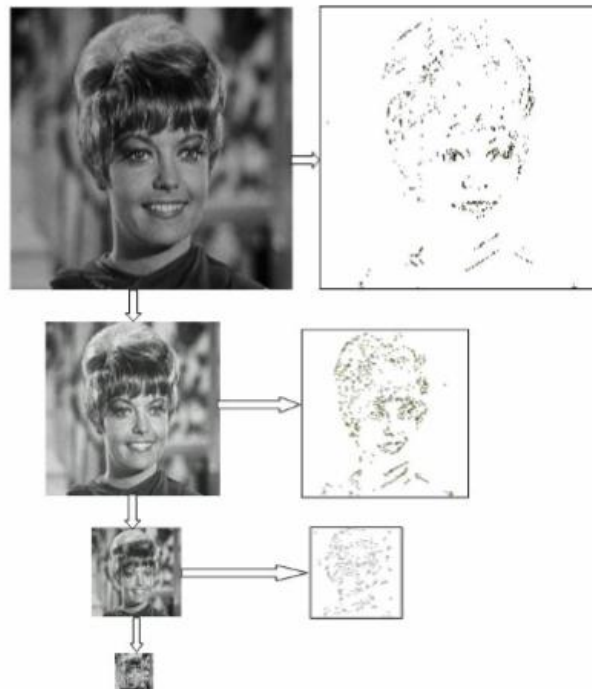


Рис. 1.5. Контурно-фонове представлення зображення алгоритмом MSEC

1.5 Висновки до розділу

В даному розділі виконана задача аналітичного опису зображення, як можливості розвитку загальних систем обробки зображень. Доведено, що існуючі методи обробки зображень, в основному, носять алгоритмічний характер і практично не дозволяють аналітично дослідити поведінку зображення при тих чи інших умовах. У багатьох випадках, пов'язаних з обробкою чи проектуванням, необхідно описати процес алгебраїчними виразами, що враховують часові особливості зображення. Актуальною буде обробка зображень у логіко-часовому середовищі, з використанням функцій, які можуть описувати як стаціонарні зображення, так і об'єкти в динаміці.

РОЗДІЛ 2. ФОРМАЛЬНИЙ ОПИС ОБГРУНТУВАННЯ ФУНКЦІОНАЛЬНОГО БАЗИСУ ОБРОБКИ ЗОБРАЖЕНЬ МЕТОДАМИ КОНТУРИЗАЦІЇ

2.1 Принципи побудови дельта-розбиття часового інтервалу

При розгляді системи логіко-часової функції необхідно відмітити, що всі ЛЧФ розглядаються на часовому інтервалі $[t_k, t_{k+1}]$, де $k = \overline{0, \infty}$. З метою розпаралелювання процесу обробки інформації в логіко-часових середовищах заданий часовий інтервал підлягає спеціальному Δ -розбиттю. В теорії вимірів подібну операцію називають дискретизацією. Для вказаного типу розбиття наведемо декілька означень.

Δ -інтервалом назвемо мінімальний часовий інтервал довжиною Δ_i ($\Delta_i = t_{i+1} - (t_i + T_i)$) між двома часовими координатами ЛЧФ на часовому інтервалі $[t_k, t_{k+1}]$ (рис. 2.1).

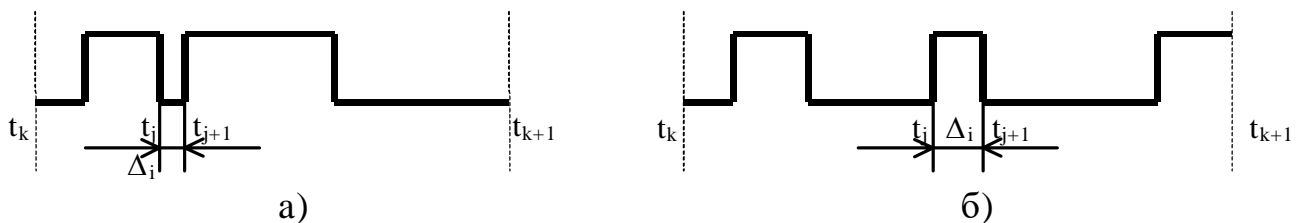


Рис. 2.1. Δ -інтервал (Δ_i).

Δ -розбиттям часового інтервалу $[t_k, t_{k+1}]$ називають множину $\left[\frac{t_{k+1} - t_k}{\Delta_i} \right]$ інтервалів, довжина кожного з яких дорівнює довжині Δ -інтервалу, де Δ_i – довжина Δ -інтервалу.

Відмітимо, що при побудові довільного Δ -розбиття необхідно дотримуватись наступних правил.

Межі Δ -інтервалу, вважаються початками відповідного Δ -розбиття, тобто вказане розбиття виконується по обидві сторони від Δ -інтервалу (рис. 2.2).

Якщо дробова частина $\frac{t_{k+1} - t_k}{\Delta_i}$ не менша за 0,5, то кількість отриманих інтервалів збільшується на одиницю.

Можливі варіанти Δ -розбиття ЛЧФ можуть набути вигляду, зображеного на рис. 2.2.

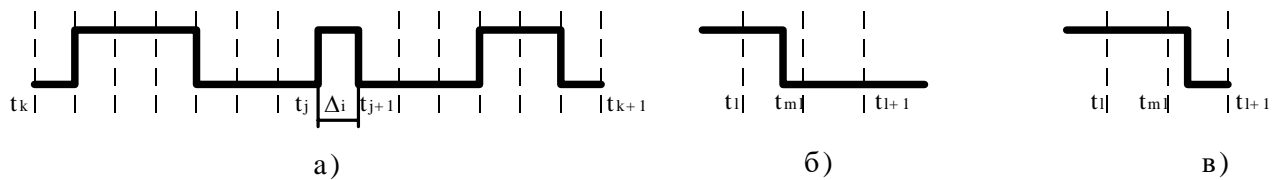


Рис. 2.2. Варіанти Δ -розбиття

На довільному Δ -інтервалі розбиття ЛЧФ може змінювати своє значення. В таких випадках доцільно корегувати значення відповідної функції. Це корегування ідентичне квантуванню, але для ЛЧФ вказане корегування виконується по тій же координаті, що й згадана дискретизація. В цьому контексті краще використати термін «фільтрація». Фільтрування ЛЧФ реалізується наступним чином.

У випадку, коли зміна логіко-часової функції припадає на проміжок $[t_l, t_{ml}]$, де t_l – початок l -того інтервалу Δ -розбиття, t_{ml} – середина l -ого інтервалу Δ -розбиття, вважаємо, що значення ЛЧФ змінюється в точці t_l (рис. 2.2б).

У випадку, коли зміна ЛЧФ припадає на проміжок $(t_{ml}, t_{l+1}]$, де t_{l+1} – кінець l -того інтервалу Δ -розбиття, t_{ml} – середина l -того інтервалу Δ -розбиття, вважаємо, що значення ЛЧФ змінюється в точці t_{l+1} (рис. 2.2в).

Можливий варіант фільтрації логіко-часової функції зображено на рис. 2.3.

Оскільки фільтрація логіко-часової функції, як всяка обробка сигналу, спотворює початковий сигнал з'являється необхідність оцінки адекватності нової ЛЧФ вхідній інформації.

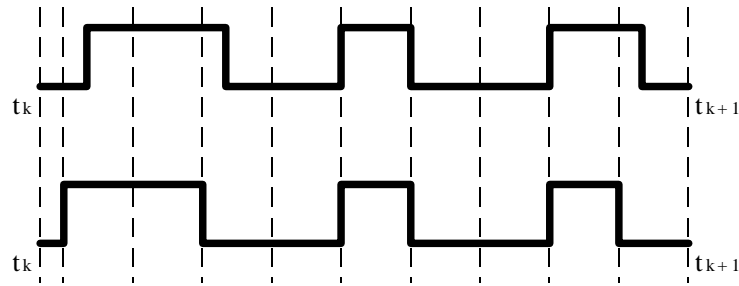


Рис. 2.3. Фільтрація логіко-часової функції

На рис. 2.4 показані всі можливі варіанти фільтрації ЛЧФ з одним відрізком існування.

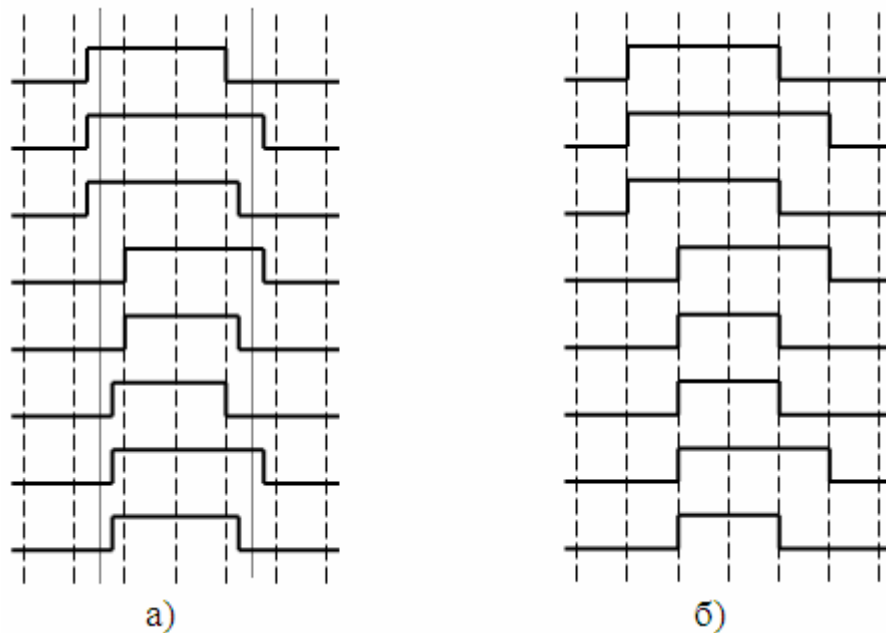


Рис. 2.4. Фільтрація логіко-часової функції:

а –варіанти Δ -розбиття ЛЧФ; б – відфільтровані ЛЧФ.

Операція фільтрації ЛЧФ дещо змінює відфільтровані тривалості відрізків існування в порівнянні з вхідними сигналами, тому виникає питання оцінки адекватності нової ЛЧФ вхідній інформації. Скористаємося методом кореляційного аналізу, для якого необхідно мати результати n пар незалежних спостережень, що зображуються у вигляді множини точок у декартовій системі координат.

Припустимо, що між показником Y (в нашому випадку тривалість відфільтрованого сигналу в Δ -інтервалах) і фактором X (в нашому випадку поточна тривалість вхідного сигналу) існує лінійна стохастична залежність, при якій одному значенню фактора може відповідати декілька значень показника. Виникає необхідність в декартовій системі координат знайти згладжувальну лінію, яка б найкращим чином проходила через задану множну точок.

Оскільки, найбільш уживаною є лінійна залежність між показником Y і фактором X , то з урахуванням можливих відхилень, цей зв'язок запишемо у вигляді $Y = \alpha X + \beta + e$, де α і β – невідомі параметри, e – випадкова змінна. Залежність $Y_x = \alpha X + \beta$, яка характеризує середнє арифметичне значення показника Y для $X=x$, називається регресією.

Справжні значення параметрів регресії обчислити досить складно, оскільки ми маємо обмежене число спостережень, тому отримані значення параметрів α і β є статистичними оцінками справжніх параметрів. Доцільно відмітити, що існує необмежена кількість прямих, які можна провести через множину спостережуваних точок. Найпоширенішим критерієм вибору “найкращої” прямої із множини можливих є критерій мінімізації суми квадратів відхилень.

Позначимо оцінки параметрів відповідно через a і b . Тоді рівняння регресії $Y_x = aX + b$ (рис. 2.4) буде оцінкою моделі $Y = \alpha X + \beta + e$.

$$Q(a, b) = \sum_{i=1}^n e_i^2 = (y_i - y)^2 = \sum_{i=1}^n (y_i - ax_i - b)^2$$

Оцінки параметрів a і b лінійної регресії $Y_x = aX + b$ мають бути підібрані методом найменших квадратів так, щоб функціонал $Q(a, b)$, був мінімальним,

$$\text{тобто } Q(a, b) = \sum_{i=1}^n e_i^2 \Rightarrow \min$$

Необхідною умовою існування мінімуму функціонала $Q(a,b)$ є рівність нулю частинних похідних цього функціоналу по a та b :

$$\begin{cases} \frac{\partial Q(a,b)}{\partial a} = -2 \sum_{i=1}^n (y_i - ax_i - b)x_i = 0, \\ \frac{\partial Q(a,b)}{\partial b} = -2 \sum_{i=1}^n (y_i - ax_i - b) = 0. \end{cases}$$

Розкриємо дужки і дістанемо, так звану, систему нормальних рівнянь.

$$\begin{cases} a \sum_{i=1}^n x_i^2 + b \sum_{i=1}^n x_i = \sum_{i=1}^n x_i y_i, \\ a \sum_{i=1}^n x_i + nb = \sum_{i=1}^n y_i. \end{cases} \quad (2.1)$$

Система нормальних рівнянь має єдиний розв'язок:

$$\begin{aligned} a &= \frac{n \sum_{i=1}^n x_i y_i - \sum_{i=1}^n x_i \sum_{i=1}^n y_i}{n \sum_{i=1}^n x_i^2 - \left(\sum_{i=1}^n x_i \right)^2}, \\ b &= \frac{\sum_{i=1}^n y_i - a \sum_{i=1}^n x_i}{n}. \end{aligned} \quad (2.2)$$

Таким чином ми отримали єдину критичну точку.

Достатньою умовою існування екстремуму в критичній точці (a,b) є додатне значення визначника:

$$D(a,b) = \begin{vmatrix} \frac{\partial^2 Q(a,b)}{\partial a^2} & \frac{\partial^2 Q(a,b)}{\partial a \partial b} \\ \frac{\partial^2 Q(a,b)}{\partial b \partial a} & \frac{\partial^2 Q(a,b)}{\partial b^2} \end{vmatrix} > 0 \quad (2.3)$$

причому, якщо $\frac{\partial^2 Q(a,b)}{\partial a^2} > 0$, то в точці (a,b) існує мінімум.

Для одержання визначника $D(a,b)$ знайдемо частинні похідні другого порядку:

$$\begin{aligned}\frac{\partial^2 Q}{\partial a^2} &= \frac{\partial}{\partial a} \left(-2 \sum_{i=1}^n (y_i - ax_i - b)x_i \right) = 2 \sum_{i=1}^n x_i, \\ \frac{\partial^2 Q}{\partial b^2} &= \left(-2 \sum_{i=1}^n (y_i - ax_i - b) \right) = 2n, \text{ оскільки } \sum_{i=1}^n 1 = n, \\ \frac{\partial^2 Q}{\partial a \partial b} &= \frac{\partial}{\partial b} \left(-2 \sum_{i=1}^n (y_i - ax_i - b)x_i \right) = 2 \sum_{i=1}^n x_i.\end{aligned}$$

Враховуючи, що для неперервної функції $\frac{\partial^2 Q}{\partial a \partial b} = \frac{\partial^2 Q}{\partial b \partial a}$, запишемо визначник (2.3) у вигляді:

$$\begin{aligned}D(a,b) &= \begin{vmatrix} 2 \sum_{i=1}^n x_i^2 & 2 \sum_{i=1}^n x_i \\ 2 \sum_{i=1}^n x_i & 2n \end{vmatrix} = 4 \left(n \sum_{i=1}^n x_i^2 - \left(\sum_{i=1}^n x_i \right)^2 \right) = \\ &= 4n^2 \left[\frac{\sum_{i=1}^n x_i^2}{n} - \bar{x}^2 \right] = 4n^2 D[X] = 4n^2 \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n} = \\ &= 4n \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2 > 0,\end{aligned}$$

якщо хоча б одне значення $x_i \neq \bar{x}$. Оскільки $\frac{\partial^2 Q}{\partial a^2} = 2 \sum_{i=1}^n x_i^2 > 0$, то точка (a,b) є точкою мінімуму функціонала $Q(a,b)$. Звідси випливає, що оцінки параметрів a і b є такими оцінками, для яких виконується умова $Q(a,b) = \sum_{i=1}^n e_i^2 \Rightarrow \min$.

Для оцінки найбільшої неадекватності відфільтрованої логіко-часової функції вхідній, враховуючи що можливих варіантів Δ -розбиття для функції,

яка має тільки один екстремум є вісім, доцільно використовувати логіко-часову функцію, що має вісім екстремумів. Найбільш раціонально розглядати граничні випадки Δ -розбиття, коли в результаті виконання операції фільтрації збільшуються тривалості всіх одиничних значень даної логіко-часової функції (рис. 2.5а), коли згадані тривалості зменшуються (рис. 2.5б) та змішаний варіант (рис. 2.5в), при якому частина тривалостей збільшилась, а частина зменшилась.

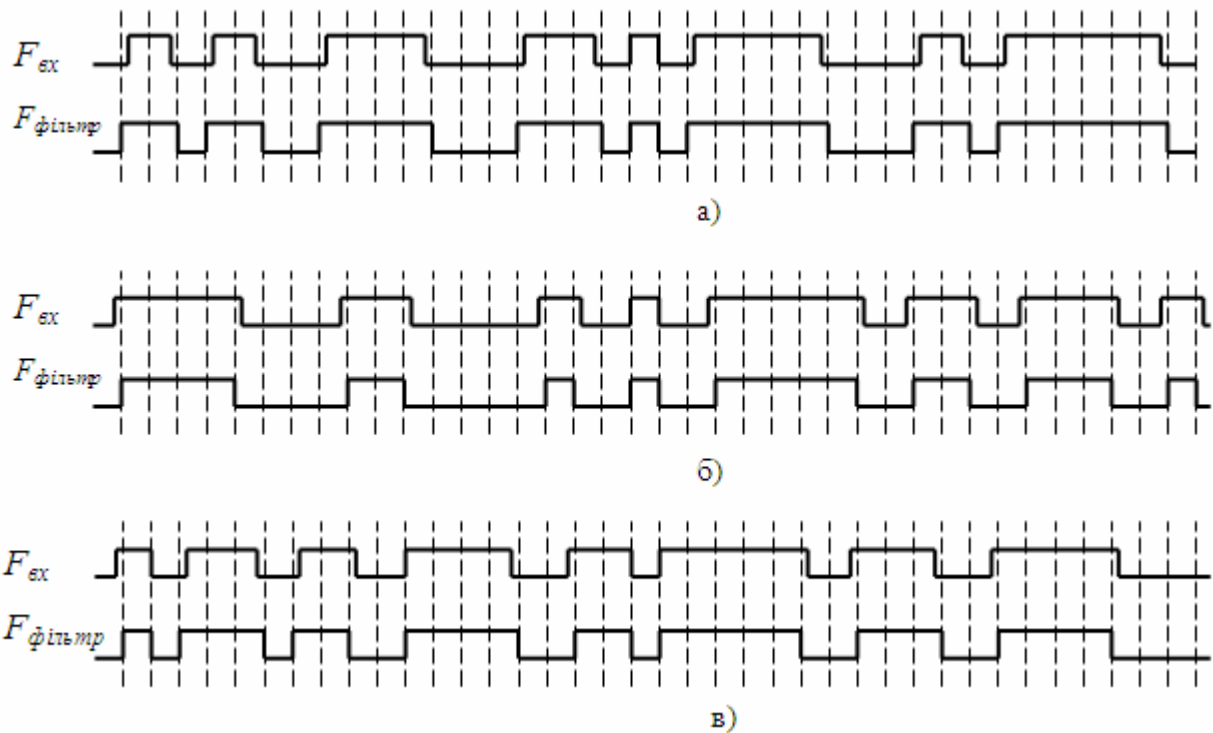
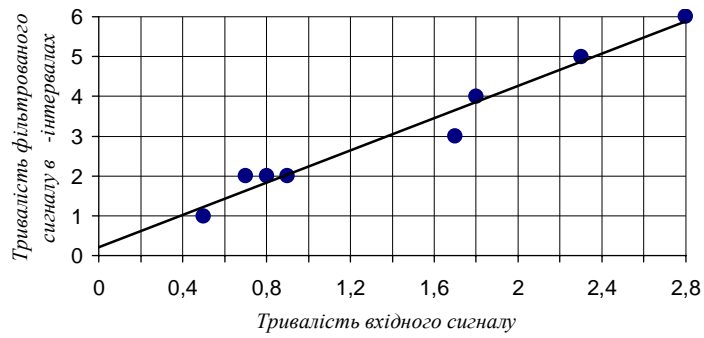


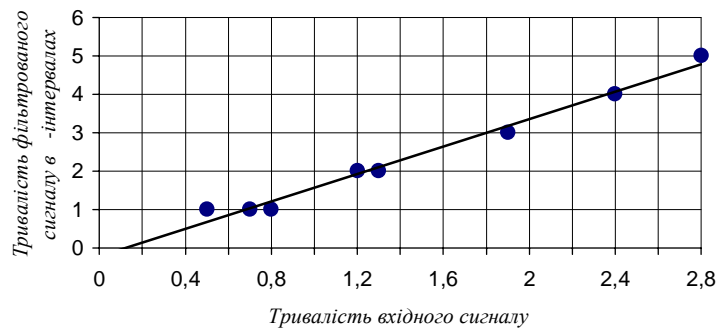
Рис. 2.5. Граничні варіанти Δ -розбиття та відповідні фільтрації логіко-часової функції: а – випадок збільшення тривалостей; б – випадок зменшення тривалостей; в – змішаний випадок.

В якості фактора X нами взяті поточні тривалості вхідного сигналу ($F_{вх}$), отримані експериментальним шляхом; відповідні їм Y – тривалості фільтрованої логіко-часової функції, виражені числом довжин Δ -інтервалу ($F_{фільтр}$).

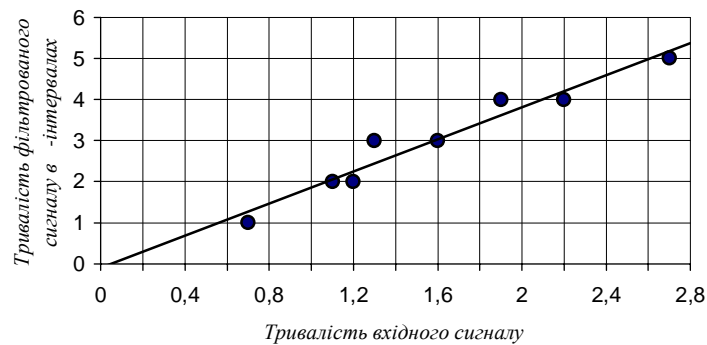
В усіх трьох випадках має місце лінійна регресія (рис. 2.6)



а)



б)



в)

Рис. 2.6. Лінії регресії : а – випадок збільшення тривалостей; б – випадок зменшення тривалостей; в – змішаний випадок.

Для кожного випадку параметри регресії знаходяться за допомогою системи нормальних рівнянь (2.1). Отримавши рівняння регресії оцінюється щільність зв'язку фактору X з показником Y , тобто з'ясується наскільки значним є вплив X на Y .

Найпростішим критерієм, який дає кількісну оцінку зв'язку між двома показниками є коефіцієнт кореляції $\eta_{y/x}$, який обчислюється за формулою:

$$\eta_{y/x} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (\bar{y}_x - \bar{y})^2}{\sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2}} \quad (2.4)$$

де \bar{y}_x - регресія для $X=X_i, i=1, n$;

\bar{y} - середнє арифметичне значення показника Y ,

y_i - поточні дані показника; або

$$\eta_{y/x} = \sqrt{\frac{MSR}{MSE(n-2)}},$$

де

MSR – середній квадрат, який можна пояснити з регресійної моделі;

MSE – середній квадрат помилок;

$(n-2)$ – ступінь вільності, пов'язаний з MSE .

Чим ближчий коефіцієнт кореляції $\eta_{y/x}$ до 1, тим сильніший зв'язок між фактором та показником. В наших трьох випадках коефіцієнти кореляції рівні 0.98, 0.98, 0.97 відповідно. Це говорить про дуже тісний зв'язок між фактором X та показником Y .

2.2 Дослідження процесів розпаралелювання і попередньої обробки зображень

При цифровій обробці напівтонові зображення можна представити у вигляді кінцевої множини n -мірних функцій.

$$B = \left\{ \begin{array}{l} b_1(x_1^1, x_2^1, \dots, x_n^1) \\ b_2(x_1^2, x_2^2, \dots, x_n^2) \\ \dots\dots\dots \\ b_m(x_1^m, x_2^m, \dots, x_n^m) \end{array} \right\} \quad (2.5)$$

Покажемо, що представлення зображення у вигляді (2.5) дозволяє ефективно застосувати для його обробки паралельний підхід. Оскільки клас функцій, що підлягають розпаралелюванню обмежений, доведемо, що функції виду $b_i(x_1^i, x_2^i, \dots, x_n^i)$ для будь-якого $i = \overline{1, m}$ однозначно описуються класом частково-рекурсивних B -функцій.

Розглянемо i -у функцію виду $b_i(x_1^i, x_2^i, \dots, x_n^i)$ множини B , яка задана в алфавіті M з основою m_i . На практиці в більшості випадків зображення описуються в бінарному алфавіті, тому $t = 0, 1$, а $M_{01} = \{m_0, m_1\}$. В такому випадку для всіх функцій множини B справедлива рівність:

$$Dom(b_i) = Ran(b_i), \quad i = \overline{1, m} \quad (2.6)$$

де $Dom()$ і $Ran()$ - відповідно прообраз і образ функції b_i .

Для функцій, які володіють властивістю (2.6) має місце наступна теорема
Функція $b_i(x_1^i, x_2^i, \dots, x_n^i)$, яка задана в бінарному алфавіті, обчислюється.
Доведемо це твердження. На основі (2.6) запишемо, що $(x_1^i, x_2^i, \dots, x_n^i) = Dom(b) = \{0, 1\}$. В такому випадку маємо n -змінну функцію виду $b(0, 0, \dots, 0, 1, 0, \dots, 0)$, яка однозначно визначається за допомогою операторів обнулення Z , додавання одиниці S та переадресації T , тобто

$$\begin{aligned} Z(x_1^i, x_2^i, \dots, x_n^i) &= 0 \\ S(x_1^i, x_2^i, \dots, x_n^i) &= x_{k+1}, \quad k \in R, \\ T(x_1^i, x_2^i, \dots, x_n^i) &= x_r, \quad \forall i = \overline{1, n} \end{aligned} \quad (2.7)$$

спроможні забезпечити необхідну достовірність визначення типу зображення, можна ідентифікувати об'єкт за допомогою спеціальної характеристичної функції. Ідентифікація об'єкта відбувається шляхом порівняння вказаної характеристичної функції з еталонами, що накоплені у базі знань. Для формування характеристичної функції скористаємося формулою:

$$F_{\text{л}} = \int_m F_i \omega_i = \int_m \left(a_i \oplus \bigoplus_{j=1}^m p_j \right) \omega_i, \quad (2.8)$$

де $F_{\text{л}}$ – характеристична функція (узагальнена результативна інтегральна ЛЧФ);

a_i – інформація, що міститься в i -му визначнику;

$\bigoplus_{j=1}^m$ – оператор впливу визначників;

m – кількість отриманих функцій;

p_j – змінна, що характеризує фізичний зміст функції яка несе в собі кількісно-якісну інформацію;

ω_i – вагові коефіцієнти функцій систем визначників;

\int_m – оператор узагальненого інтегрування кількісного результату

паралельних вхідних змінних з визначенням фізичних розмірностей та неявно виражених визначників.

При формуванні результативної функції $F_{\text{л}}$ використовується принцип інтегрування ЛЧФ. Знаходження характеристичної функції в аналітичному вигляді потребує, згідно класичній математиці, початкового визначення поняття похідної ЛЧФ та відповідно операції диференціювання, яка є первинною по відношенню до операції інтегрування. В цьому контексті похідну ми розглядаємо як логічну функцію, точніше як логіко-часову функцію. Для визначення загального вигляду похідної скористаємося вище запропонованим поняттям Δ -розбиття.

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 приймала різні значення на $i-1$ і i -му проміжках. У протилежному випадку похідна дорівнює нулю.

Для спрощення аналітичного опису похідної ЛЧФ будемо використовувати позначення класичної математики.

Нехай маємо деяку ЛЧФ k -значної логіки $f(t, t_1, \dots, t_m, T_1, \dots, T_m, a_1, \dots, a_m)$,

де t_1, \dots, t_m - часові координати,

T_1, \dots, T_m - відповідні відрізки існування,

a_1, \dots, a_m - амплітуди, що відповідають даним відрізкам існування.

Тоді похідна вказаної функції визначається наступним чином:

$$f'(t, t_1, \dots, t_m, T_1, \dots, T_m, a_1, \dots, a_m) = \begin{cases} (t - (t_k + i\Delta_i)) |a_{k,i+1} - a_{k,i}|, & \text{де } i - \text{порядковий} \\ \text{номер } \Delta - \text{інтервалу, } i = 0, \overline{\frac{T_k}{\Delta_i} + 1}, k = \overline{1, m} \\ 0, & \text{якщо } (t \leq t_1) \wedge (t_k + T_k + \Delta_i < t \leq t_{k+1}) \wedge \\ & \wedge (t > t_m + T_m + \Delta_i), k = \overline{1, m} \end{cases} \quad (2.9)$$

У випадку двійкової логіки формула (2.9) дещо спроститься, оскільки амплітуди можуть приймати нульове або одиничне значення, тобто:

$$f'(t, t_1, \dots, t_m, T_1, \dots, T_m) = \begin{cases} (t - (t_k + i\Delta_i)), & \text{де } i - \text{порядковий} \\ \text{номер } \Delta - \text{інтервалу, } i = 0, \overline{\frac{T_k}{\Delta_i} + 1}, k = \overline{1, m} \\ 0, & \text{якщо } (t \leq t_1) \wedge (t_k + T_k + \Delta_i < t \leq t_{k+1}) \wedge \\ & \wedge (t > t_m + T_m + \Delta_i), k = \overline{1, m} \end{cases} \quad (2.10)$$

Похідну довільної ЛЧФ можна зобразити графічно (рис.2.7).

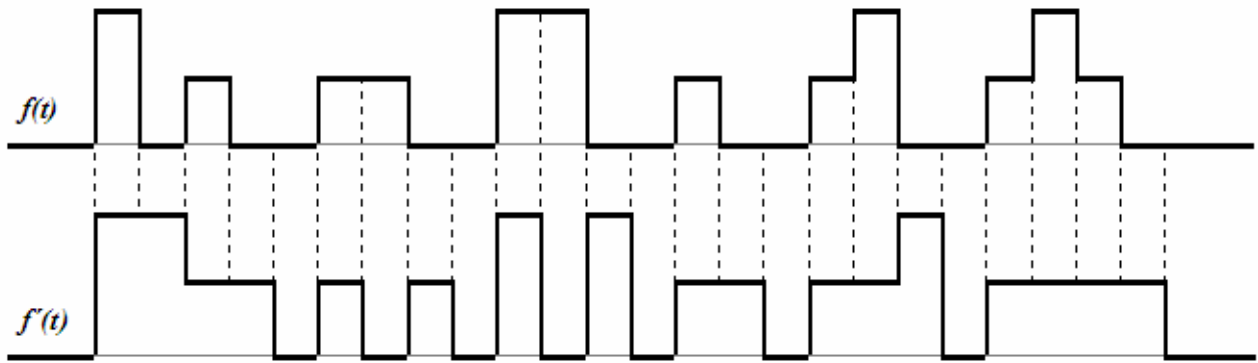


Рис. 2.7. Можливий варіант графічного знаходження похідної довільної часової функції 3-значної логіки.

Оскільки для визначення похідної ЛЧФ суттєвим є лише її попереднє значення, то для спрощення розуміння означення будемо вважати, що значення ЛЧФ на першому інтервалі Δ -розбиття співпадає з попереднім значенням.

2.4 Дослідження операції нерівнозначного віднімання

Оскільки ми маємо справу з ЛЧФ k -значної логіки, то з'явилась необхідність введення деяких спеціальних операцій - операції нерівнозначного віднімання ($|k|$), яка базується на введеному попередньо понятті Δ -розбиття:

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

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 буде знову ЛЧФ, яку можна назвати нерівнозначною різницею.

Розглянемо властивості даної операції.

1) Операція нерівнозначного віднімання комутативна. Для випадку нерівнозначного віднімання двох ЛЧФ маємо:

$$\begin{aligned} & f_1(t, t_{11}, \dots, t_{1m}, T_{11}, \dots, T_{1m}, a_{11}, \dots, a_{1m}) |k| f_2(t, t_{21}, \dots, t_{2n}, T_{21}, \dots, T_{2n}, a_{21}, \dots, a_{2n}) = \\ & = f_2(t, t_{21}, \dots, t_{2n}, T_{21}, \dots, T_{2n}, a_{21}, \dots, a_{2n}) |k| f_1(t, t_{11}, \dots, t_{1m}, T_{11}, \dots, T_{1m}, a_{11}, \dots, a_{1m}) \end{aligned}$$

2) Операція нерівнозначного віднімання асоціативна, тобто:

$$\begin{aligned} & (f_1(t, t_{11}, \dots, t_{1m}, T_{11}, \dots, T_{1m}, a_{11}, \dots, a_{1m}) |k| f_2(t, t_{21}, \dots, t_{2n}, T_{21}, \dots, T_{2n}, a_{21}, \dots, a_{2n})) |k| \\ & |k| f_3(t, t_{31}, \dots, t_{3p}, T_{31}, \dots, T_{3p}, a_{31}, \dots, a_{3p}) = \\ & = f_1(t, t_{11}, \dots, t_{1m}, T_{11}, \dots, T_{1m}, a_{11}, \dots, a_{1m}) |k| \\ & |k| (f_2(t, t_{21}, \dots, t_{2n}, T_{21}, \dots, T_{2n}, a_{21}, \dots, a_{2n}) |k| f_3(t, t_{31}, \dots, t_{3p}, T_{31}, \dots, T_{3p}, a_{31}, \dots, a_{3p})) \end{aligned}$$

3) Якщо від будь-якої ЛЧФ відняти ЛЧФ, у якій всі амплітуди дорівнюють нулю, то в результаті отримаємо вихідну ЛЧФ:

$$\begin{aligned} & f_1(t, t_{11}, \dots, t_{1m}, T_{11}, \dots, T_{1m}, a_{11}, \dots, a_{1m}) |k| f_2(t, t_{21}, \dots, t_{2n}, T_{21}, \dots, T_{2n}, 0, \dots, 0) = \\ & = f_1(t, t_{11}, \dots, t_{1m}, T_{11}, \dots, T_{1m}, a_{11}, \dots, a_{1m}) \end{aligned}$$

4) Будь-яку ЛЧФ, що має m відрізків існування можна представити, як нерівнозначну різницю m ЛЧФ, з одним відрізком існування, тобто:

$$f(t, t_1, \dots, t_m, T_1, \dots, T_m, a_1, \dots, a_m) = f(t, t_1, T_1, a_1) |k| f(t, t_2, T_2, a_2) |k| \dots |k| f(t, t_m, T_m, a_m)$$

5) Будь-яку ЛЧФ $f(t, t_1, \dots, t_m, T_1, \dots, T_m, a_1, \dots, a_m)$ можна представити, як нерівнозначну різницю інверсій елементарних ЛЧФ $f(t, t_1, T_1, a_1), f(t, t_2, T_2, a_2), \dots, f(t, t_m, T_m, a_m)$, тобто:

$$f(t, t_1, \dots, t_m, T_1, \dots, T_m, a_1, \dots, a_m) = \bar{f}(t, t_1, T_1, a_1) |k| \bar{f}(t, t_2, T_2, a_2) |k| \dots |k| \bar{f}(t, t_m, T_m, a_m)$$

б) Якщо від довільної ЛЧФ $f(t, t_1, \dots, t_m, T_1, \dots, T_m, a_1, \dots, a_m)$ відняти ЛЧФ $f_1(t, t_k, t_{k+1} - t_k, a)$, де $a = \max\{a_1, \dots, a_m\}$, то отримується ЛЧФ інверсна функції $f(t, t_1, \dots, t_m, T_1, \dots, T_m, a_1, \dots, a_m)$, тобто:

$$f(t, t_1, \dots, t_m, T_1, \dots, T_m, a_1, \dots, a_m) \cdot k | f_1(t, t_k, t_{k+1} - t_k, a) = \overline{f(t, t_1, \dots, t_m, T_1, \dots, T_m, a_1, \dots, a_m)}$$

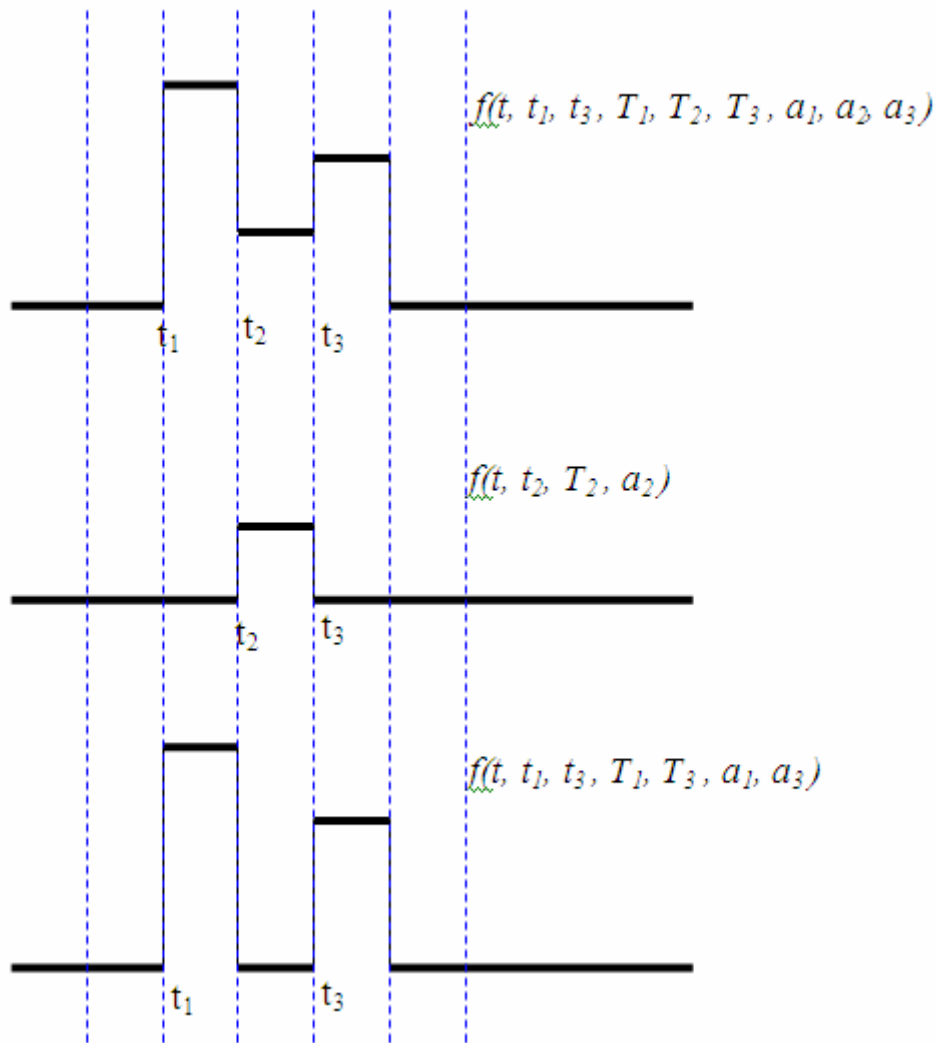


Рис. 2.8. Основна властивість нерівнозначного віднімання

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 $t_2 = t_1 + T_1$, $t_3 = t_1 + T_1 + T_2$,

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

Тоді $f(t, t_1, t_2, t_3, T_1, T_2, T_3, a_1, a_2, a_3) \mid k \mid f(t, t_2, T_2, a_2) = f(t, t_1, t_3, T_1, T_3, a_1, a_3)$, що показано на рис. 2.8.

2.5 Висновки до розділу

В даному розділі розглянуто поняття спеціального Δ -розбиття, що дозволило довести можливість використання часової функції для розпаралелювання і попередньої обробки зображень. Також описано спеціальну операцію нерівнозначного віднімання, яка дозволяє вдосконалити математичні моделі взаємодії часової функції. Розглянуто основні властивості вказаної операції.

РОЗДІЛ 3. ПРОГРАМНЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ТА ІМІТАЦІЙНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ПРОЦЕСУ КОНТУРИЗАЦІЇ ТА ПОПЕРЕДНЬОЇ ОБРОБКИ ЗОБРАЖЕНЬ

3.1 Програма виділення контурів напівтонових зображень

Дослідження властивостей похідних ЛЧФ двійкової логіки чи в загальному випадку k -значної логіки і їх використання при обробці зображень неможливе без відповідного комп'ютерного моделювання, оскільки графічна побудова необхідних послідовностей пов'язана з великою витратою часу на багаторазову перевірку результату і не гарантує від можливих помилок. Особливо це видно при спробі ручного моделювання значення k більше трьох і тривалості часового інтервалу $[t_k, t_{k+1}]$ більше десятка Δ -інтервалів. Окрім цього, на сучасному етапі розвитку інформаційних технологій, побудова графіків функцій без використання комп'ютера є абсолютно непрофесійною роботою.

В роботі було розроблено програму *Модель ЛЧФ*, яка дозволяє досліджувати ЛЧФ і їх похідні до 256-значної логіки включно на часовому проміжку, що не перевищує 1024 Δ -інтервали. Вказані характеристики дозволяють досліджувати зображення розміром 32x32 пікселя із кольоровою гамою максимально 256 відтінків.

В основу алгоритму програми покладена теорема про те, що похідна довільної ЛЧФ k -значної логіки дорівнює нерівнозначній різниці даної функції і цієї ж функції затриманої на Δ -інтервал. В загальному випадку $k=2,3,4,\dots,K$. Графічна ілюстрація знаходження похідної ЛЧФ представлено на рис.3.1.

На рисунку вихідна функція $f_1(t, t_1, T_1, a_1)$ позначена просто $f_1(t_1)$, а та ж сама ЛЧФ $f_1(t, t_1, T_1, a_1)$ з затримкою на Δ -інтервал $f_1(t, t_1 + \Delta, T_1, a_1)$ позначена як $f_1(t_1 + \Delta)$. Похідна ЛЧФ, або нерівнозначна різниця $-f'_1(t_1)$.

Якихось додаткових пояснень для розуміння алгоритму визначення похідної функції не потрібно.

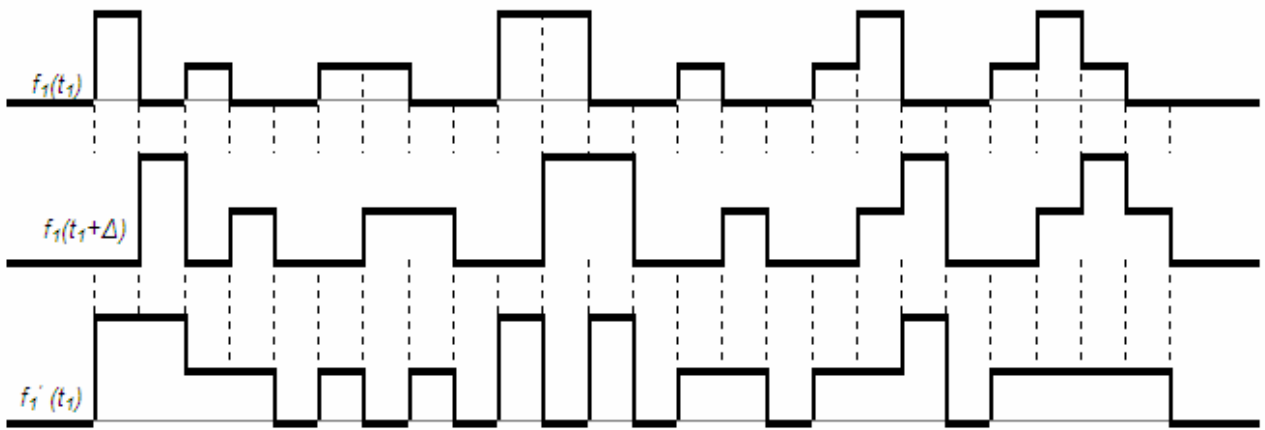


Рис. 3.1. Графічна ілюстрація роботи алгоритму

Крім нерівнозначного віднімання програма дозволяє розглянути і варіанти „додавання” та „множення” по *mod k* а також варіанти „мінімуму” та „максимуму” двох функцій: вихідної і затриманої. Причому, затримку (зсув) можна робити на довільне число n Δ -інтервалів, як в варіанті $t_i + n\Delta$ затримки, так і в варіанті $t_i - n\Delta$ зсуву.

Отриманий на кожному кроці ітерації результат порівнюється з результатами всіх попередніх кроків і вихідною функцією. У випадку якогось співпадання в нижньому службовому рядку статусу виводиться інформація про поточний крок, номер попереднього кроку з яким співпала поточна функція і поточне значення $k-1$ (рис.3.2). Процес обчислення припиняється. Якщо такого співпадання немає, то процес припиниться автоматично після 20000 кроку ітерації.

1467	443	15	
------	-----	----	--

Рис. 3.2. Рядок статусу моделюючої програми.

На рисунку 3.2 - 1417 - останній крок ітерації ; 443-номер кроку, де функція співпадає з останньою ітерацією; 15-значення $k-1$.

Програма дозволяє виконувати роботу як з зображенням так і з таблицею заданих значень. Таблиця може заповнюватись автоматично випадковими числами в діапазоні 0 - (k-1) або заповнятися чи редагуватися від руки.

Для керування програмою використовується загально прийнятий віконний інтерфейс Windows. Згадані вище параметри настройки задаються в діалоговому вікні Параметри (рис.3.3.).

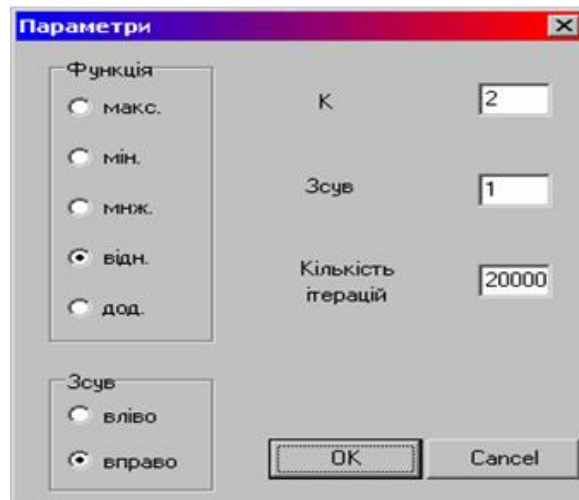



Рис. 3.3. Вікно параметри

Значення прапорців і того чи іншого поля зрозумілі за попередніми поясненнями. Діалогове вікно Параметри запускається через контекстне меню правої кнопки в області таблиці чи зображення. Крім того, воно доступне через випадаюче меню Настройка, клавіші Ctrl+P і кнопку .

Робота програми з зображенням і з таблицею незалежна. Пікселі зображення в таблицю не заносяться. Результат роботи програми відображається у вигляді рис. 3.4.

Як видно з рис. 3.4, на екрані відображено три функції: початкова, остання, що співпала з якоюсь із попередніх функцій або з початковою і передостання похідна. Всі функції зображаються на координатній сітці, яка відповідає Δ -інтервалам і k-значенням функції.

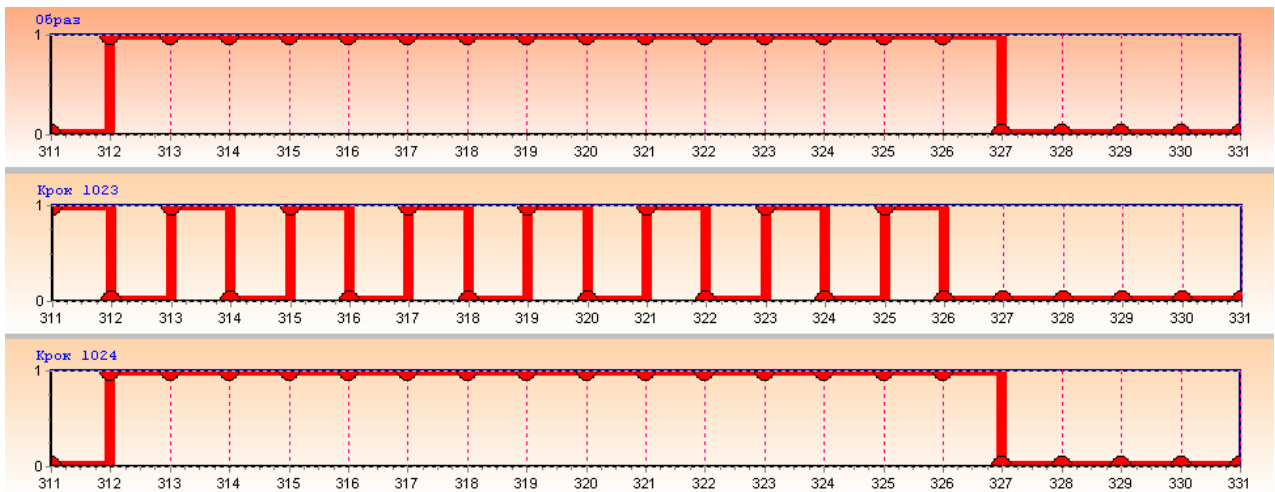


Рис. 3.4. Результат роботи програми *Модель ЛЧФ*.

Загальний вигляд вікна моделюючої програми показаний на рисунку 3.5.

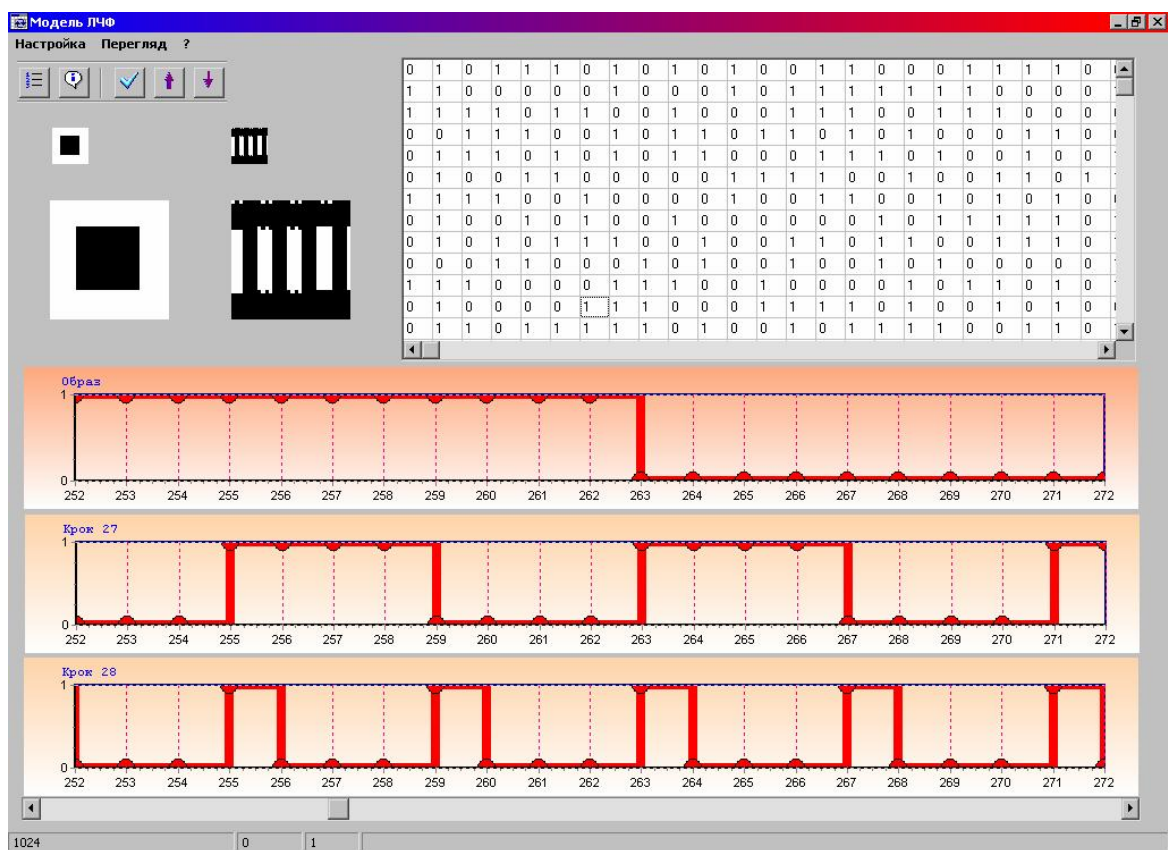



Рис. 3.5. Загальний вигляд вікна програми

Вікно має рядок заголовку з назвою програми, рядок меню і рядок панелі інструментів.

Рядок меню містить два пункти: **Настройка**, **Перегляд**, що використовуються для управління програмою.

Панель інструментів містить кнопки, які найбільш часто використовуються. (Кнопка **Параметри** розглядалась раніше).

В першу чергу це:

- **Позначки**  – виводить цифри значень графіка (рис. 3.6);

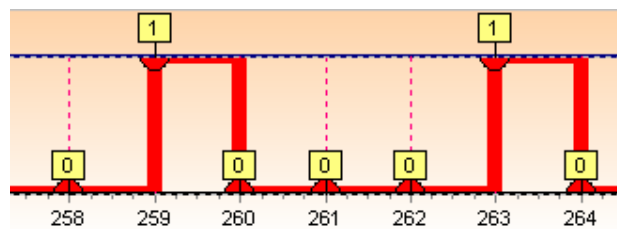



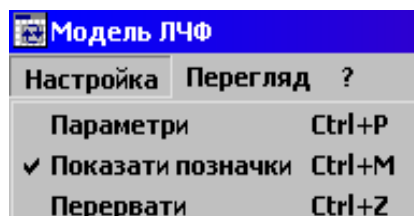


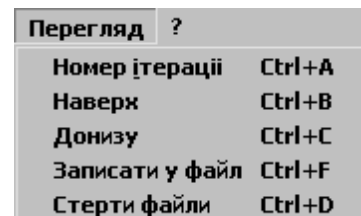
Рис. 3.6. Графік з позначками

- **Номер ітерації**  – дозволяє перейти на потрібний крок ітерації;
- **Нагору**  – перехід на попередній крок ітерації;
- **Донизу**  – перехід до наступного кроку ітерації;

Випадаюче меню **Настройка** включає команди, що не потребують додаткових пояснень і їх дія зрозуміла з назви. Зовнішній вигляд меню **Настройка** зображено на рис. 3.7а.



а)



б)

Рис. 3.7. Зовнішній вигляд меню **Настройка** та **Перегляд**

Окремого пояснення вимагає меню **Перегляд** (рис.3.7б). Воно дозволяє детально розглянути перед друкуванням потрібну нам функцію. Зображення

(картинка) може бути записано у файл. Всі попередньо записані файли можна при бажанні стерти.

Маємо ще три контекстних меню правої кнопки миші: меню зображення, меню таблиці і графіка. Останнє меню копіює потрібний графік в буфер обміну для подальшого його використання в інших додатках.

Контекстне меню зображення (рис. 3.8) дозволяє вставити зображення з файлу у форматі *.bmp з числом кольорів не більше 256 і розміром 32x32 пікселя. Файл зображення повинен бути розміщений у тій же директорії, що і сама програма. Файл попередньо має бути підготовлений програмою **Paint**.

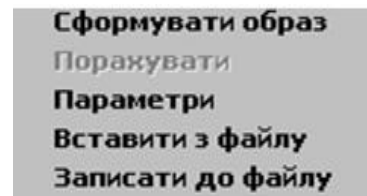


Рис. 3.8. Контекстне меню зображення

Для дослідження, напівтонові зображення краще готувати програмою **Photoshop**, та зберегти для WEB з необхідними параметрами і перетворити програмою **Paint** в bmp-файл.

Сформувати образ використовується для занесення стартових (вихідних) даних в програму перед запуском розрахунку.

Порахувати – запустити роботу програми зі сформованими даними.

Контекстне меню правої кнопки в режимі таблиці показане на рис. 3.9.

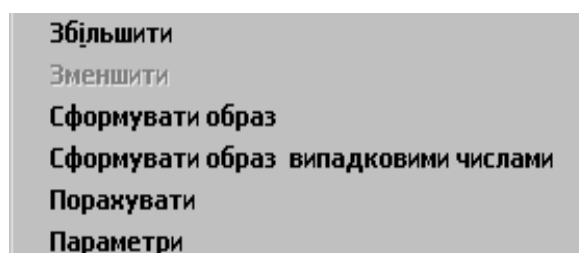


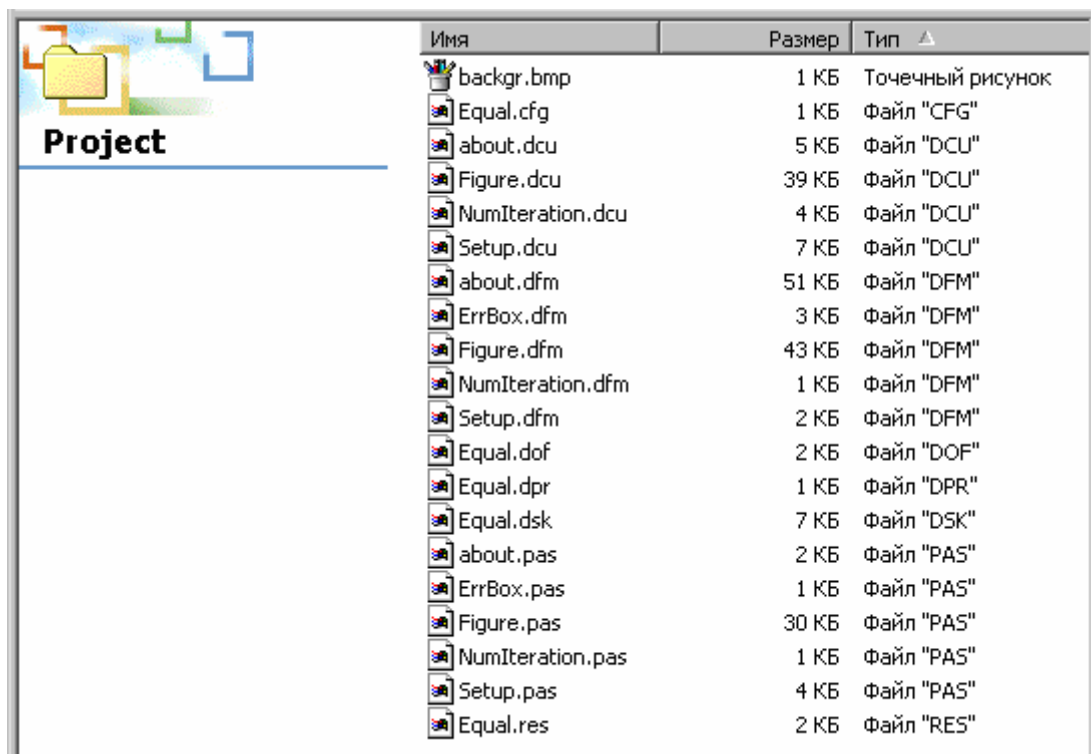
Рис. 3.9. Контекстне меню таблиці

Збільшити, зменшити – показати всю таблицю чи її частину. Решта пунктів зрозуміла з назви або розглядалась раніше і не потребує додаткових пояснень.

Програма написана в середовищі Delphi 5. В готовому вигляді розміщується в двох файлах загальним розміром 656 КБ,: model.exe і backgr.bmp. Перелік вихідних файлів наведений нижче на рис. 3.10. Їх загальний розмір становить 196 КБ. Файл проекту Equal.dpr, паскаль-файли *.pas, форми *.dfm, файл конфігурації Equal.cfg та службові файли.

Файлом запуску являється файл **model.exe**.

Програма працює в середовищі операційної системи Windows. Для роботи з напівтоновими зображеннями необхідна оперативна пам'ять не менше 512 МБ.



Имя	Размер	Тип
backgr.bmp	1 КБ	Точечный рисунок
Equal.cfg	1 КБ	Файл "CFG"
about.dcu	5 КБ	Файл "DCU"
Figure.dcu	39 КБ	Файл "DCU"
NumIteration.dcu	4 КБ	Файл "DCU"
Setup.dcu	7 КБ	Файл "DCU"
about.dfm	51 КБ	Файл "DFM"
ErrBox.dfm	3 КБ	Файл "DFM"
Figure.dfm	43 КБ	Файл "DFM"
NumIteration.dfm	1 КБ	Файл "DFM"
Setup.dfm	2 КБ	Файл "DFM"
Equal.dof	2 КБ	Файл "DOF"
Equal.dpr	1 КБ	Файл "DPR"
Equal.dsk	7 КБ	Файл "DSK"
about.pas	2 КБ	Файл "PAS"
ErrBox.pas	1 КБ	Файл "PAS"
Figure.pas	30 КБ	Файл "PAS"
NumIteration.pas	1 КБ	Файл "PAS"
Setup.pas	4 КБ	Файл "PAS"
Equal.res	2 КБ	Файл "RES"

Рис. 3.10. Вихідні файли програми

Для прикладу наведемо зображення „кругу” і його другу і сьому похідні та графіки відповідних ЛЧФ (рис. 3.11).

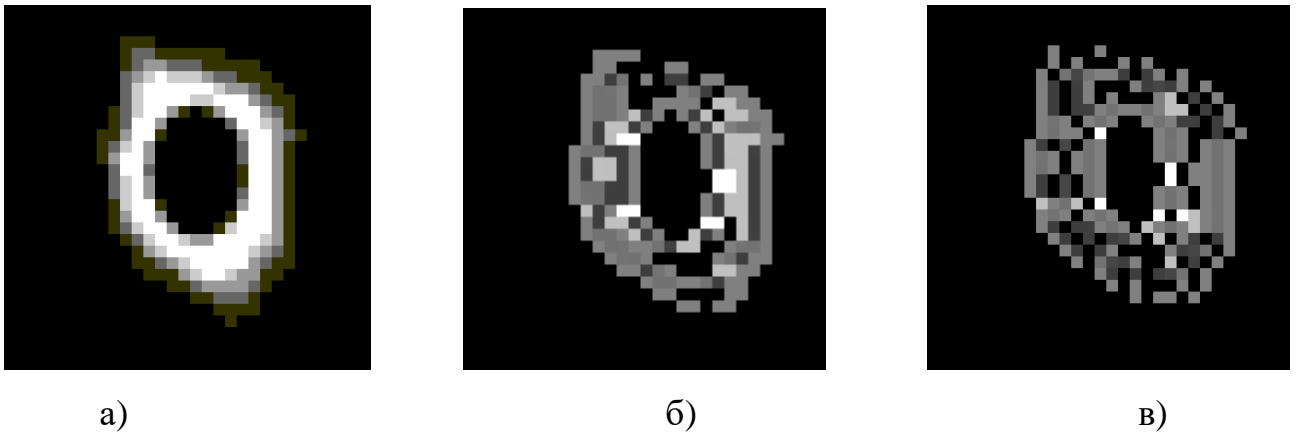
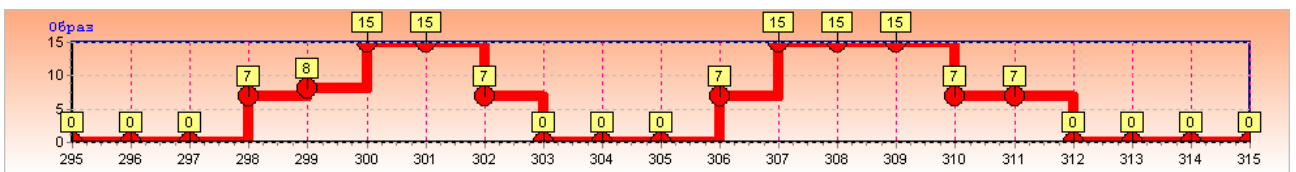
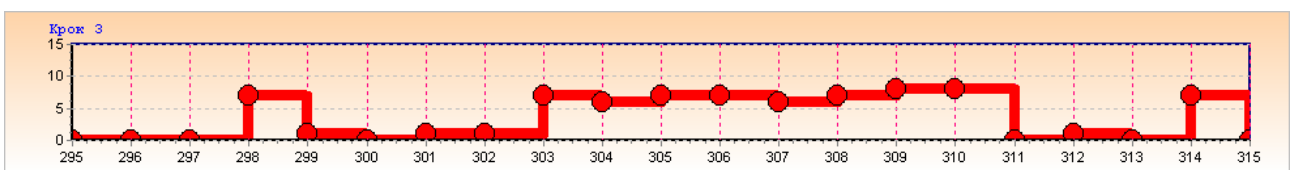


Рис. 3.13 - Напівтонове зображення „Затемнення” і його обробка
а – початкове зображення, б – третя похідна, в – четверта похідна,

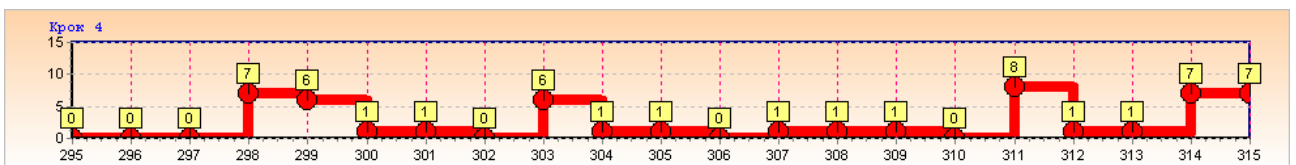
Графіки ЛЧФ, що відповідають наведеним зображенням наведені нижче (рис. 3.14). Зображення представлено 16-ю градаціями яскравості. Логічні формати Windows 1, 8, 16, 24 та 32 розряди.



а)



б)



в)

Рис. 3.14. Фрагменти напівтонових ЛЧФ зображення „Затемнення”:
а – початкова ЛЧФ, б – третя похідна ЛЧФ, в – четверта похідна ЛЧФ.

Нумерація пікселів виконана зліва направо і починається з нуля. Горизонтальна смуга прокрутки дозволяє вибрати відповідний фрагмент графіку. Аналогічну операцію можна зробити клацнувши лівою кнопкою миші на відповідному елементі зображення.

Для роботи з таблицею потрібно правою кнопкою збільшити її, чи просто скористатись смугами прокрутки, ввести потрібні дані від руки і **Сформувати образ**. Далі контекстним меню правої кнопки вибираємо **Порахувати**. Решта дій аналогічна режиму зображення.

На рис. 3.15 показані початкові фрагменти таблиці і графіків, що їй відповідають.

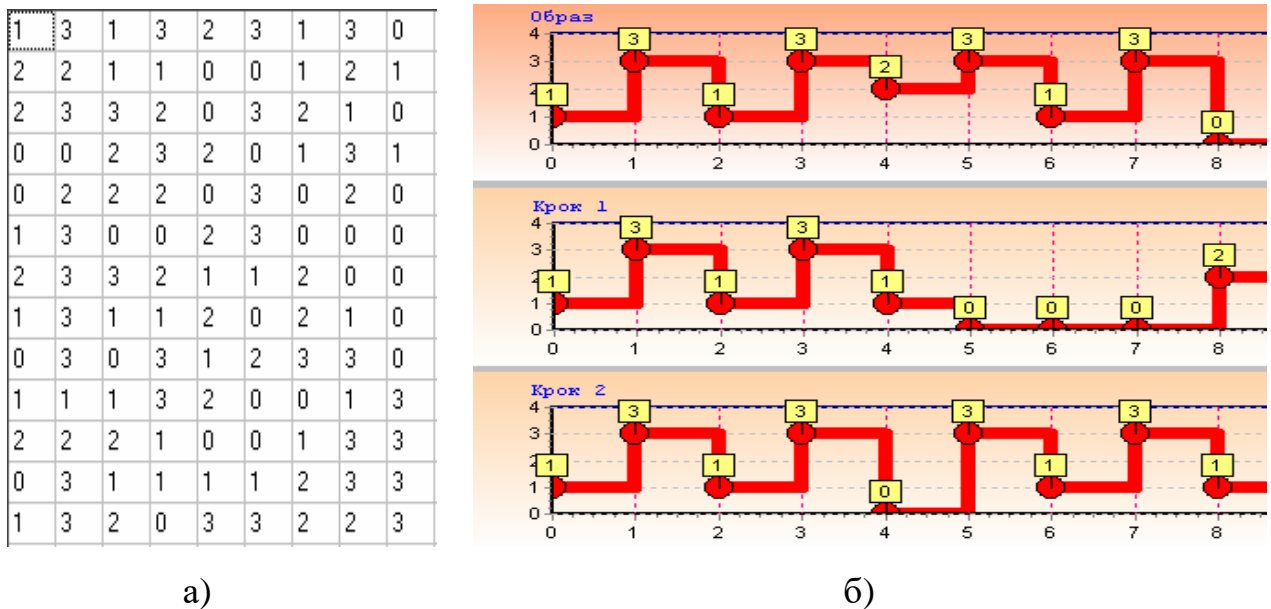


Рис. 3.15. Результати роботи з таблицею: а – фрагмент таблиці

б - фрагменти графіків.

Для зміни функції обробки і її параметрів (крок і напрямок зсуву) потрібно скористатись діалоговим вікном **Параметри** і встановити відповідні вихідні дані (рис. 3.16).

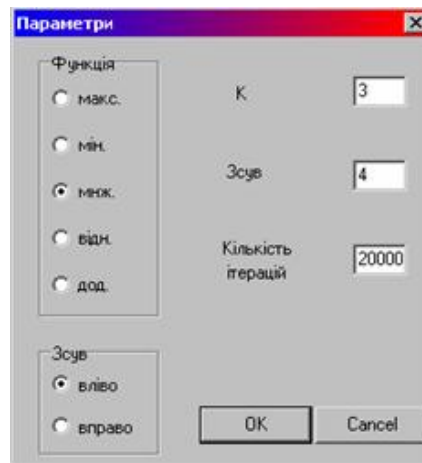


Рис. 3.16. Вікно **Параметри** з новими даними.

Тут встановлена функція **Множення по mod k**, **k** рівним **3** та зсув **вліво** на **4** пікселя.

Результат такої зміни параметрів показаний нижче на рис. 3.17

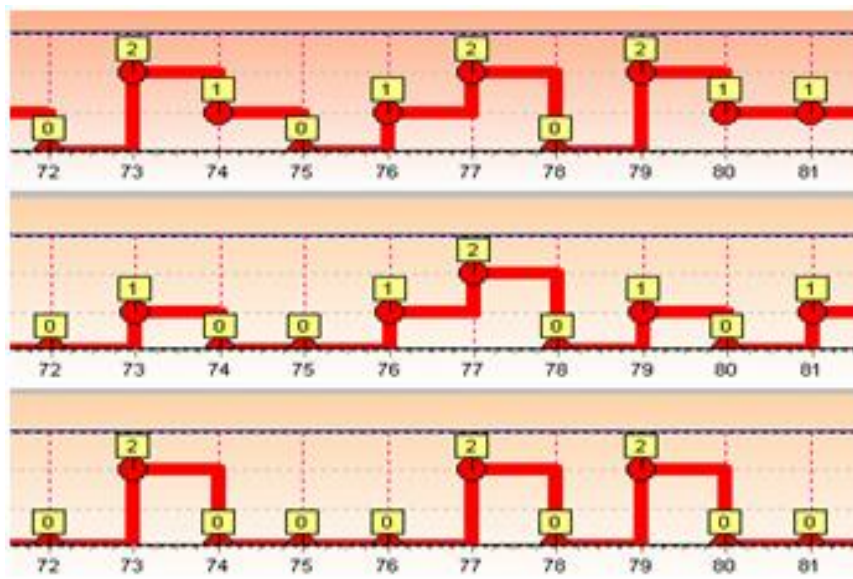


Рис. 3.17. Результат зміни параметрів

3.2 Варіанти схемотехніки попередньої обробки зображень

В підрозділі 2.2 було показано, що представлення зображення у вигляді системи логіко-часових функцій дозволяє застосовувати при його обробці паралельний підхід, що повністю співпадає з концепцією око-процесорного підходу.

Для матричного зображення, паралельну обробку можна вести на рівні кожного пікселя, групи пікселів, рядка чи стовпчика. Найбільш природно вести обробку одночасно по рядках і стовпчиках, що є близьким до двомірної обробки.

В обробці зображень доцільно виділити три етапи: попередня обробка, обробка на проміжному та верхньому рівнях.

При попередній обробці зображення виділяються характерні ознаки зображення, шляхом згладжування, фільтрації, підвищення контрасту, виділення контурів

На проміжному рівні проводиться опис і класифікація об'єктів. При аналізі зображення на верхньому рівні проводиться розпізнавання об'єктів.

В контексті поставлених задач розглядається попередня обробка зображень. Серед методів попередньої обробки зображень досить важливими є методи фільтрації, що дозволяють відносно просто усунути імпульсні завади.

3.2.1 Медіанний фільтр ЛЧФ

В першому розділі розглянуті різні методи фільтрації, але найбільш природним при використанні логіко-часової функції є медіана фільтрація, яку доцільно використовувати двічі: горизонтально і вертикально. Медіана фільтрація використовується як для бінарного, так і для напівтонового (k -значного) зображення.

Виходячи з цих даних розроблена схема медіаної фільтрації (рис. 3.18)

Основу схеми становить матричний регістр зсуву максимально на вісім слів. Розмірність кожного слова при 256 напівтонах дорівнює 8 розрядів.

Логіко-часова функція послідовно зсувається, наприклад вправо, слово за словом. За кодами слів слідкує схема визначення медіани. Розмір вікна аналізу визначається схемою управління і становить непарне число максимально 7. Схема визначення медіани знаходить число, що більше або рівне $(N-1)/2$ випадках серед чисел, які розглядаються в поточний момент і одночасно менше

або рівне в решті $(N-1)/2$ випадках. Якщо таке число (медіана) є, то схема управління корекцією середній елемент вікна заміняє на знайдену медіану.

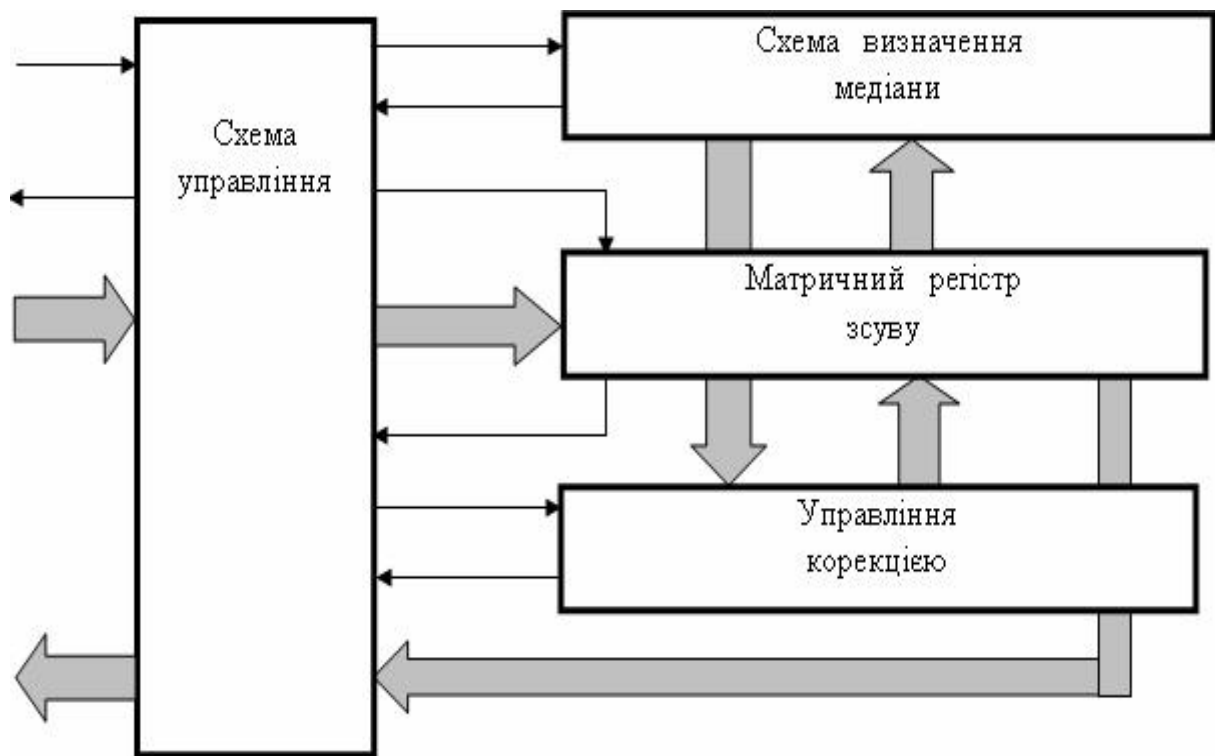


Рис. 3.18. Структурна схема медіанного фільтру

Далі інформація знову зсувається вправо на один елемент, а останній правий елемент матричного регістру поступає на подальшу обробку або повертається в запам'ятовуючий пристрій. Всі описані операції знову повторюються.

В розробленій схемі для випадку бінарного зображення матричний регістр зсуву перетворюється у звичайний регістр зсуву.

3.2.2 Схеми диференціювання ЛЧФ

Основну операцію обробки зображень, пов'язану з виділенням його окремих елементів, становить операція диференціювання. Розроблено структурну схему елемента диференціювання логіко-часової функції двійкової логіки (рис. 3.19).

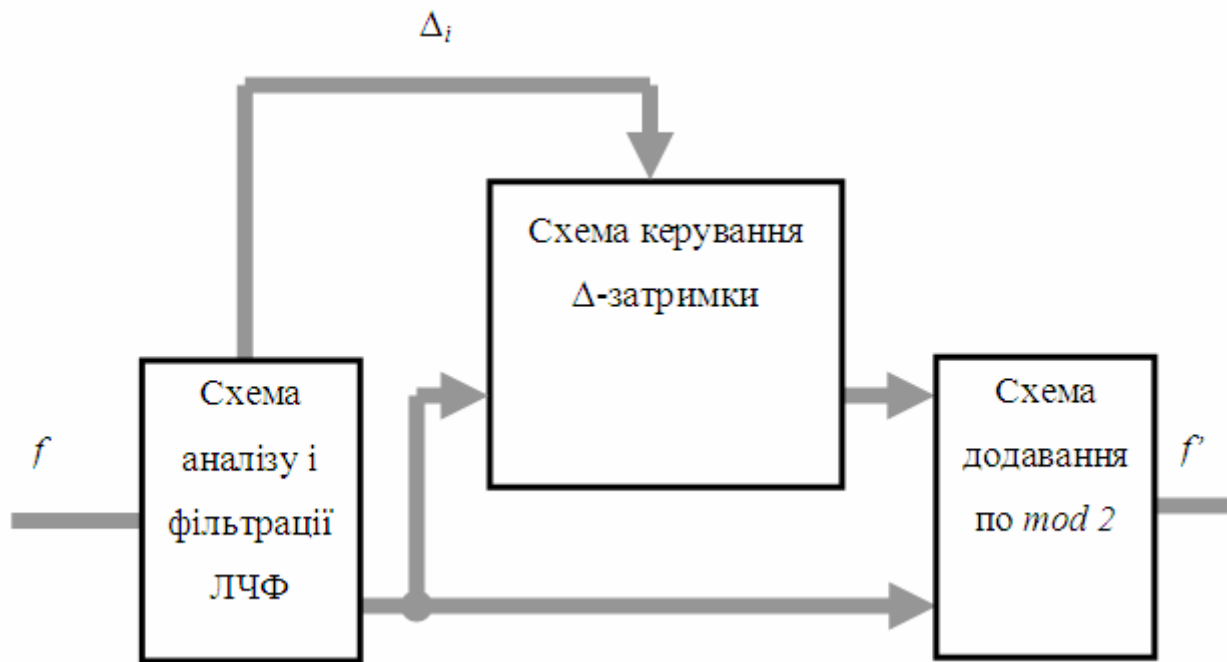


Рис. 3.19. Схема елемента диференціювання ЛЧФ двійкової логіки

У вказаному елементі схема аналізу і фільтрації ЛЧФ забезпечує визначення Δ -інтервалу, який і визначає величину затримки вхідного сигналу схемою керованої Δ -затримки. Остання забезпечує затримку сигналу на необхідну величину. Схема додавання по *mod 2* виконує операцію над затриманим і прямим сигналами. Результатом роботи елемента є похідна функція вхідної ЛЧФ.

В більш загальному випадку, похідну можна обчислити як суму по модулю два даної логіко-часової функції і цієї ж функції з затримкою на $\pm n\Delta_i$ інтервалів, тобто:

$$f'(t, t_1, \dots, t_m, T_1, \dots, T_m) = f(t, t_1, \dots, t_m, T_1, \dots, T_m) \oplus f(t, t_1 \pm n\Delta_i, \dots, t_m \pm n\Delta_i, T_1, \dots, T_m).$$

Таку похідну будемо називати відповідно до інтервалу затримки: 2Δ -похідна, 5Δ -похідна і т.д.

Загальна функціональна схема обчислення похідної ЛЧФ k -значної логіки представлена на рис. 3.20.

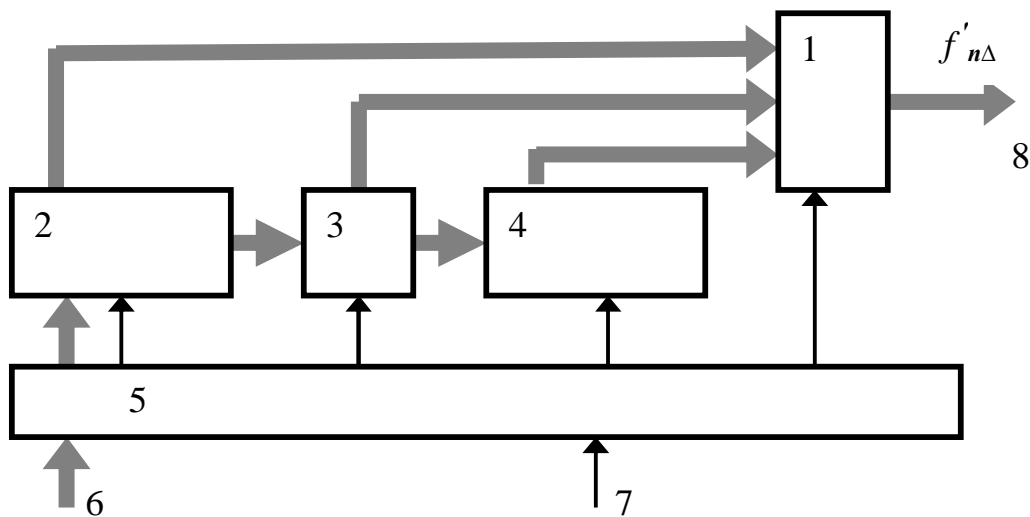


Рис. 3.20. Загальна функціональна схема диференціювання ЛЧФ k -значної логіки:

- 1 – схема нерівнозначного віднімання;
- 2, 4 – керована дискретна схема затримки на $n \Delta$ -інтервалів;
- 3 – однорозрядний регістр; 5 – схема управління;
- 6 – вхідна ЛЧФ;
- 7 – сигнали запуску і настройки схеми;
- 8 – вихідна $n \Delta$ -похідна.

Вхідні управляючі сигнали 7, відповідно до характеристик вхідної ЛЧФ 6 та ідеології обробки зображення, налаштовують через схему управління 5 одну із схем затримки 2 чи 4 на необхідну тривалість та здійснюють потрібну комутацію вузлів схеми. Залежно від цієї комутації вхідний сигнал поступає на схему затримки 2 або на однорозрядний регістр 3.

При знаходженні від'ємної $n \Delta$ -похідної вхідний сигнал надходить у блок 2, а при знаходженні додатної $n \Delta$ -похідної – у блок 4. Після затримки (зсуву) на $\pm n \Delta$ -інтервалів (найбільш вдала схема це регістр зсуву), вхідний сигнал поступає на схему нерівнозначного віднімання 1, на інші входи схеми поступають затримані сигнали. На виході її формується необхідна $\pm n \Delta$ -похідна 8 вхідної часової функції.

Найбільш часто при обробці зображень, для виділення контурів використовуються перша та друга похідні.

Відомо, що друга Δ -похідна ЛЧФ, дорівнює сумі по модулю два даної функції і цієї ж функції з затримкою на 2Δ -інтервали, тобто друга похідна дорівнює першій 2Δ -похідній. Це означає, що апаратне обчислення другої Δ -похідної ЛЧФ можна виконати не шляхом послідовного з'єднання пристроїв (рис.3.20), а на основі модернізованої схеми знаходження Δ -похідної, в яку додається одна додаткова ланка на виходах керованих дискретних схем затримки 2 та 4 і введена ще одна схема нерівнозначного віднімання (рис. 3.21)

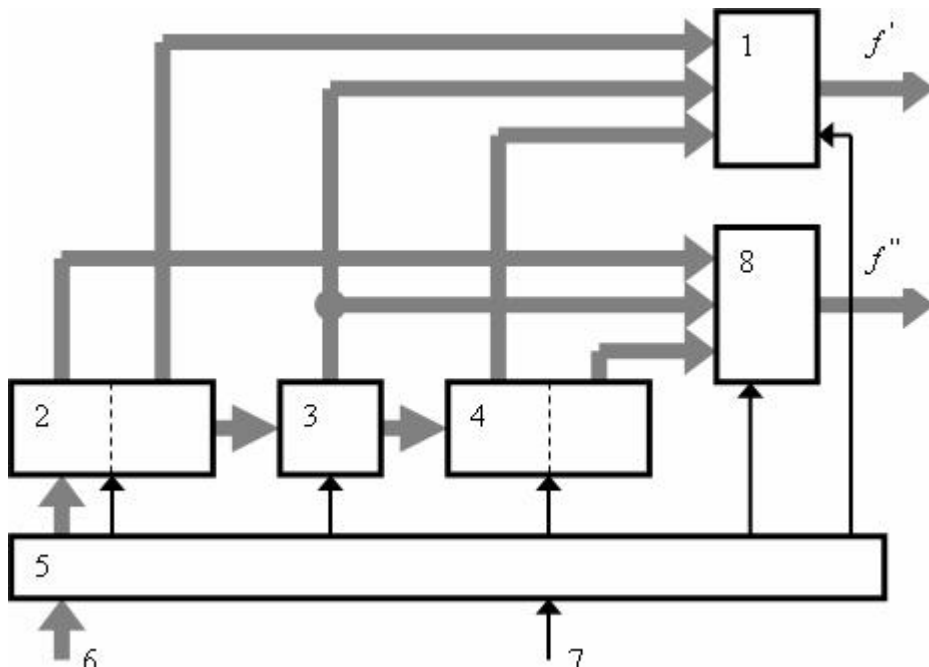


Рис. 3.21. Загальна функціональна схема диференціювання ЛЧФ k -значної логіки:

1,8 – схема нерівнозначного віднімання;
2, 4 – керована дискретна схема затримки на $n \Delta$ -інтервалів;

3 – одnorozрядний регістр;
5 – схема управління;
6 – вхідна ЛЧФ;
7 – сигнали запуску і настройки схеми.

Керовані затримки і одно розрядний реєстр у цій схемі представляють собою матричний реєстр зсуву, число слів в якому визначається величиною необхідної Δ -затримки. Якщо перша похідна підкреслює контури зображення, а друга – фактично підсилює їх, робить контури більш широкими, то наступні похідні препарують отриманий контур на якісь деталі. Число слів в керованій затримці можна обмежити двома, що відповідає максимальній затримці в 2Δ -інтервали. За всіх обставин однорозрядний реєстр зберігає одне слово.

Загальний розмір матричного реєстра за цих обставин складає п'ять слів. Для випадку медіанної фільтрації його розмір визначається вікном, а вікно більше 15 елементів використовувати не доцільно.

З іншої сторони потрібна розрядність слова визначається необхідним числом напівтонів зображення.

Елементарні підрахунки необхідного числа входів і виходів вказують на необхідність реалізації подібних схем на базі мікропроцесорної елементної бази і відповідних паралельних алгоритмів обробки.

3.3 Елементи структури попередньої обробки зображень методами контуризації

Задачею є створення пристрою для розпізнавання зображень з око-процесорним виділенням ознак, в якому за рахунок введення нових блоків досягається одночасна обробка всієї вхідної інформації та створення різноманітних систем неявно виражених визначників зображення різних типів.

З врахуванням результатів математичного дослідження, розроблено уточнену структуру око-процесорного способу обробки зображень в частині деталізації підходів попередньої обробки вхідних потоків інформації.

По-перше, оскільки зображення має двомірну структуру, то схема перетворення зображення в часові інтервали розбита на два перетворювача: X та Y (горизонтальний та вертикальний).

Вище в підрозділі 2.2 було доведено можливість розпаралелювання обробки зображень, що базується на використанні ЛЧФ і вказувалось на доцільність обробки по рядках і стовпчиках, то за аналогічними принципами потрібно і будувати схему уточненої структури око-процесорної обробки .

Відповідно до цього підходу перетворювач параметрів зображення в тривалості часових інтервалів матиме вигляд представлений на рис. 3.22.

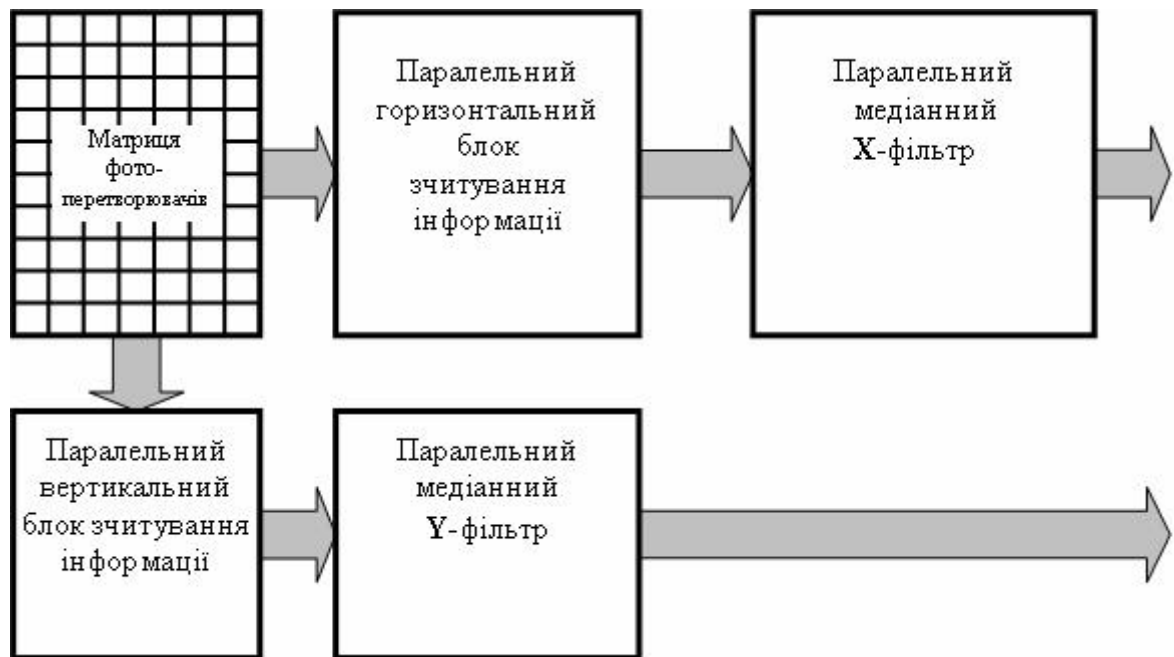


Рис. 3.22. Перетворювач параметрів зображення

Вхідний сигнал зчитується з фотоприймальних комірок по горизонтальному і вертикальному напрямках паралельно по всіх рядках і стовпчиках і надходить далі на медіанний фільтр. Останній здійснює фільтрацію імпульсних завад.

При такому підході аналізатор вхідної інформації також складається з двох, взаємно перпендикулярних напрямків, що містять в собі схеми швидкого диференціювання для обчислення похідних вищих порядків і виділення контурів (рис.3.23).

Формування попередніх ознак здійснюється шляхом аналізу і об'єднання похідних з двох напрямків диференціювання.

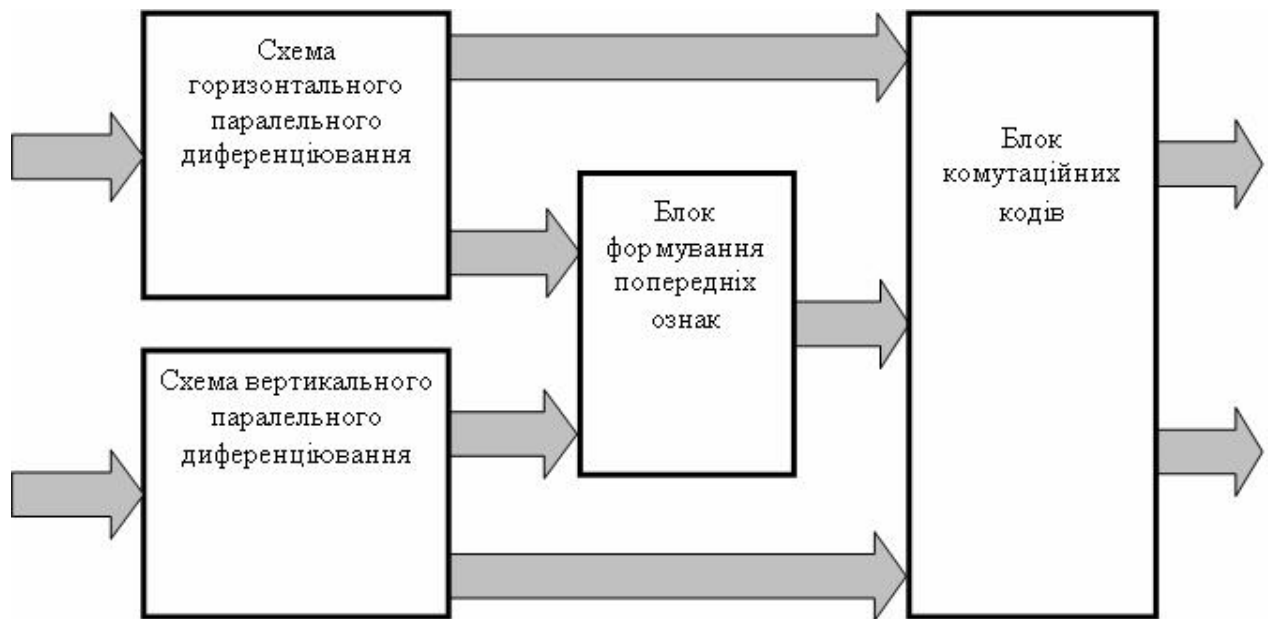


Рис. 3.23. Аналізатор вхідної інформації

Розроблені схеми є базовими і в цілому дозволяють уточнити можливий варіант реалізації око-процесорної обробки зображень. Блоки 11 та 12 з врахуванням всіх попередніх міркувань матимуть вигляд представлений на рис. 3.22 та рис. 3.23.

Раніше згадувалась доцільність реалізації розроблених елементів на базі мікропроцесорів чи взагалі спеціальних мікропроцесорів. Необхідність високого паралелізму пристроїв обробки зображень приводить до думки про створення спеціалізованих напівпровідникових процесорів на базі оптоелектроніки. Це дозволить наблизити обробку зображень до методів, що використовуються в живих природних системах.

3.4 Оцінка ефективності отриманих результатів

Порівняємо ефективність отриманих підходів з раніше відомими.

Схемотехнічний варіант пристрою, що реалізує спосіб око-процесорної обробки зображень, побудований на використанні ЛЧФ без паралельної обробки. В роботі були отримані результати, що дозволяють використовувати саме паралельну обробку зображень.

В загальному випадку зображення розміром $N_x \cdot N_y$ пікселів розбивається для можливості паралельної обробки на однакові фрагменти розміром $\Delta x \cdot \Delta y$ (рис. 3.24).

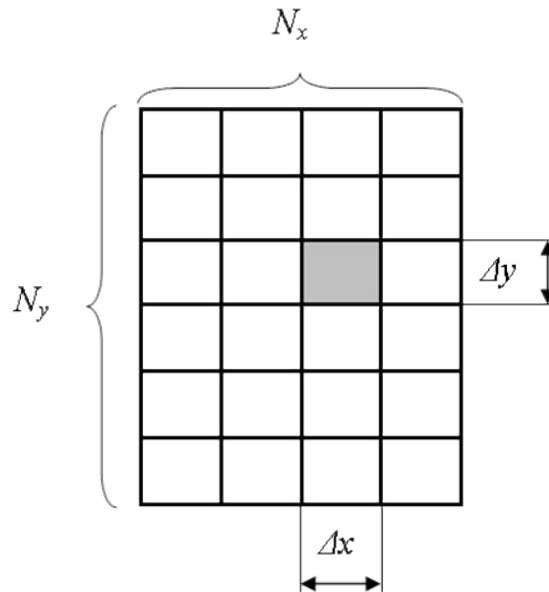


Рис. 3.24. Розбиття зображення на фрагменти

З врахуванням такого підходу, час виконання попередньої обробки фрагменту визначається за формулою:

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

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.

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

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

Порівнювати варіанти схем лише за продуктивністю означає оцінювати ступінь їх технічної досконалості у відношенні часу виконання задачі.

Критерій, що враховує економічні фактори, і називається критерієм ціни ефективної швидкодії. Він показує долю витрат, що припадає на одну операцію:

$$q = \frac{C}{W},$$

де q - ціна ефективної швидкодії,

C - витрати на обладнання, експлуатацію і проектування.

З двох систем, що характеризуються q_1 та q_2 кращою є та, де ціна ефективної швидкодії найменша, а відношення $\frac{q_1}{q_2} > 1$ показує, в скільки раз друга система ефективніша першої і навпаки.

В нашому випадку витрати на обладнання пропорційні числу фрагментів зображення і становлять:

$$C = \frac{N_x \cdot N_y}{\Delta x \cdot \Delta y} s_0 + C_0,$$

де s_0 - витрати на обладнання для обробки одного фрагменту,

C_0 - витрати на проектування та експлуатацію.

В загальному випадку:

$$q = \left(\frac{N_x \cdot N_y}{\Delta x \cdot \Delta y} s_0 + C_0 \right) (2\Delta x \cdot \Delta y \cdot \tau_0 + t_0).$$

Для аналога, коли зображення не розбивається на фрагменти $\Delta x \cdot \Delta y = N_x \cdot N_y$ маємо:

$$q_A = (s_0 + C_0)(2N_x \cdot N_y \cdot \tau_0 + t_0).$$

Знайдемо відношення $e = \frac{q_A}{q}$, що характеризує ефективність розробленої системи, маємо:

$$e = \frac{(s_0 + C_0)(2N_x \cdot N_y \cdot \tau_0 + t_0)}{\left(\frac{N_x \cdot N_y}{\Delta x \cdot \Delta y} s_0 + C_0\right)(2\Delta x \cdot \Delta y \cdot \tau_0 + t_0)}. \quad (3.1)$$

Для спрощення виразу (3.1) скористаємось коефіцієнтом $\frac{N_x \cdot N_y}{\Delta x \cdot \Delta y} = k$, який показує число фрагментів на які розбито зображення. Тоді:

$$e = \frac{(s_0 + C_0)(2k\Delta x \cdot \Delta y \cdot \tau_0 + t_0)}{(ks_0 + C_0)(2\Delta x \cdot \Delta y \cdot \tau_0 + t_0)} \quad (3.2)$$

Для випадку $\Delta x \cdot \Delta y \cdot \tau_0 \gg t_0$, отримаємо:

$$e = \frac{k(s_0 + C_0)}{ks_0 + C_0} = \frac{ks_0}{ks_0 + C_0} + \frac{kC_0}{ks_0 + C_0}.$$

При незначних затратах на фрагмент $ks_0 \ll C_0$ отримаємо, що $e \cong k$ і навпаки, при $C_0 \ll ks_0$ маємо:

$$e \cong 1 + \frac{C_0}{s_0}.$$

Для більшості випадків $C_0 \geq s_0$ це означає, що розроблені підходи мінімум в два рази ефективніші за аналог.

3.5 Висновки до розділу

В даному розділі представлено програмне забезпечення, що дозволяє виділяти контури зображень і досліджувати особливості диференціювання ЛЧФ. Програма дозволяє досліджувати використання різних варіантів похідних та інших функцій для виділення ознак при попередній обробці бінарних і напівтонових зображень.

ВИСНОВКИ

У магістерській роботі досліджено моделі та алгоритми попередньої обробки зображень методами контуризації. Представлено вирішення задачі підвищення швидкодії око-процесорної обробки зображень шляхом формалізації градієнтних операторів у логіко-часовому середовищі.

Досліджено логіко-часову функцію, похідні вищих порядків та операції диференціювання, як базової операції око-процесорної обробки зображень, шляхом формування з набору ЛЧФ єдиної характеристичної функції, адекватної вхідному зображенню. Використання характеристичної функції дозволяє підвищити швидкодію попередньої обробки зображень мінімум в два рази.

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

Класифіковано часові функції k -значної логіки та функціональну повноту системи цих функцій відносно операцій диференціювання та нерівнозначного віднімання, що дозволяє оптимізувати технічні засоби око-процесорної обробки зображень.

Запропоновано та досліджено структури елементів диференціювання, які дозволяють підвищити ефективність розпізнавання зображень за рахунок уточнення структури око-процесорного способу обробки зображень.

Проведено комп'ютерне моделювання можливостей використання часових функцій і їх похідних для попередньої обробки зображень.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Кожем'яко В.П., Тимченко Л.І., Кутаєв Ю.Ф., Івасюк І.Д. Вступ в алгоритмічну теорію ієрархії і паралелізму нейроподібних обчислювальних середовищ та її застосування до перетворення зображень. Ч.2. Основи теорії пірамідально-сіткового перетворення зображень: Навч. посібник. – К.: ІСДО, 1994. – 272 с.
2. Кожем'яко В.П., Понура О.І. Реалізація KVP-перетворень в технічних засобах око-процесорного типу //Вісник Державного університету “Львівська політехніка” – Елементи теорії та прилади твердотільної електроніки. – 2000. - № 393. - С. 68-78.
3. Ямпольський П.С., Лавров О.А. Штучний інтелект у плануванні та управлінні виробництвом., Київ: Вища школа, 1995, –255с.
4. Baskin G.E., Rusyn V.P. Image quality criteria //Proc. Conf on Information Technologies for Image Analysis and Pattern Recognition. – 1990/ - Lviv: IPM, Vol. 2.- P. 249-252.
5. Fleck M. Sonny defects in finite-difference edge finders: IEEE Trans/ Pattern Analysis and Machine Intel. - 1992. - Vol. 14, №3. – P. 337-345.
6. Русін Б.П. Системи синтезу, обробки та розпізнавання складно структурованих зображень. – Львів: Вертикаль, 1997. – 264 с.
7. Кожем'яко В.П., Понура О.І. Поняття та застосування похідної ЛЧФ //Вісник ВПІ. – 2000. - № 3. – С. 80-84.
8. Кожем'яко В.П. Оцінка методом кореляційного аналізу точності фільтрації логіко-часових функцій //Вісник ВПІ. – 2001. - № 4. – С. 79-84.
9. Лук'яненко І.Г., Краснікова Л.І. Економетрика: Підручник. – К.: Товариство „Знання”, КОО, 1998. – 494 с.
10. Понура О.І. Метод якісного розпізнавання образів на базі функційно-інтегральних синтезаторів визначників та ознак як функцій логіко-часового типу. //Вісник ВПІ. – 1998. -№2. – С. 68-72

11. Інформатика: Комп'ютерна техніка. Комп'ютерні технології. Посіб. /За ред. О.І. Пушкаря –К.: Видавничий центр „Академія”, 2001. - 696 с.
12. Phillips C., Harbor R. Feedback control systems, Prentice-Hall, 2000, 658 p.
13. Ogata K. Modern control engineering, Prentice-Hall, 2010, 905 p.
14. Control System Toolbox. User's Guide, The MathWorks, Release 2015b, 2015
15. Pratt W.K. 2016. Digital Images Processing. Third edition. Wiley.
16. Nixon M. S. and Alberto S. Aguado. 2002. Feature Extraction and Image Processing. Newnes.
17. Parker J.R. 2010. Algorithms for Image Processing and Computer Vision. Second Edition. Wiley Publishing, Inc.
18. Solomon C. and T. Breckon. 2011. Fundamental of Digital Image Processing. A Practical Approach with Examples in Matlab. Wiley – Blackwell.
19. Gonzalez R.C. and Woods R.E. 2008. Digital Image Processing. 3rd ed., Prentice Hall, New Jersey.
20. Gonzalez, R.C., and R. E. Woods, and S. L. Eddins. 2004. Digital Image Processing using MATLAB.
21. Stepan Bilan, SergeyYuzhakov. Image Processing and Pattern Recognition Based on Parallel Shift Technology.- CRC Press, Taylor & Francis Group,- 2018,- 194 p.
22. Путятін Є. П., Гороховатській В.О., Матат О.О. Методи та алгоритми комп'ютерного зору: Навч. посібник. Х: СМІТ, 2006. 236 с.
23. Вовк С.М., Гнатушенко В.В., Бондаренко М.В. Методи обробки зображень та компютерний зір : навч. посіб. / С.М. Вовк, В.В. Гнатушенко, М.В. Бондаренко. – Д. : ЛІРА, 2016. – 148 с.
24. Stepan Bilan. Formation Methods, Models, and Hardware Implementation of Pseudorandom Number Generators: Emerging Research and Opportunities. – IGI Global,- USA,-2017,- P.301.

25. Fukushima K. 1983. Neural Network for Visual Pattern Recognition – Comput. — vol. 21.No 3: 65–115.
26. Gonzalez R. C., Woods R. E. Digital Image Processing: Prentice Hall, 2002. – 813 p
27. Chris Solomon Toby Breckon. Fundamentals of Digital Image Processing. A Practical Approach with Examples in MATLAB: John Wiley & Sons Inc., 2011. – 355 p.
28. Blanchet G., Charbit M. Digital signal and image processing using MATLAB®. Vol. 1, Fundamentals. 2-nd ed.: ISTE Ltd and John Wiley & Sons Inc., 2014. – 653 p.
29. Blanchet G., Charbit M. Digital signal and image processing using MATLAB®. Vol. 2, Advances and applications: The Deterministic Case. 2-nd ed.: ISTE Ltd and John Wiley & Sons Inc., 2015. – 287 p.
30. Blanchet G., Charbit M. Digital signal and image processing using MATLAB®. Vol. 3, Advances and applications: The Stochastic Case. 2-nd ed.: ISTE Ltd and John Wiley & Sons Inc., 2015. – 336 p.
31. Нейроподібні методи, алгоритми та структури обробки зображень у реальному часі: монографія / Ю. М. Рашкевич, Р. О. Ткаченко, І. Г. Цмоць, Д. Д. Пелешко ; М-во освіти і науки України, Нац. ун-т «Львів. політехніка». – Львів: Вид-во Львів. політехніки, 2014. – 256 с
32. Linnea Larsson, Marcus Nystrom, and Martin Stridh. Detection of Saccades and Postsaccadic Oscillations in the Presence of Smooth Pursuit // IEEE Transactions On Biomedical Engineering, Vol. 60, No. 9, September 2013. – pp. 2484 – 2493.
33. Hamid Behjat, Nora Leonardi, Dimitri Van De Ville. Statistical Parametric Mapping Of Functional MRI Data Using Wavelets Adapted To The Cerebral Cortex // 2013 IEEE 10th International Symposium on Biomedical Imaging: From Nano to Macro. – San Francisco, CA, USA, April 7-11, 2013.

34. The MathWorks Support [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://www.mathworks.com/support/>
35. Image Processing Toolbox [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://www.mathworks.com/help/images/index.html>
36. Інтегрований вебсайт книг Gonzalez R. C., Woods R. E. Digital Image Processing та Gonzalez R. C., Woods R. E., Eddins S.L. Digital Image Processing Using MATLAB [Електронний ресурс]. – Режим доступу : <http://www.imageprocessingplace.com/>
37. Video Management Software [Електронний ресурс]. – Режим доступу : <https://intellisec.co.za/video-management-software/>
38. Falconer K.J. The geometry of fractal sets . — Cambridge: Cambridge university press , 1995. — 162 p.
39. Яровий А. А. Прикладна реалізація масштабних нейронних та нейроподібних паралельно-ієрархічних мереж на основі технологій GPGPU / А. А. Яровий, Ю. С. Богомолів, К. Ю. Вознесенський // Наукові праці Вінницького національного технічного університету. — 2009. — № 2. — С. 1—8
40. Falconer K.J. Fractal Geometry. Mathematical Foundations and Applications . — Chichester: John Wiley & Sons , 2003. — 337 p.
41. Geng Weidong. The Algorithms and Principles of Non-photorealistic Graphics. Artistic Rendering and Cartoon Animation / Weidong Geng . — Hanzhou: Springer, 1995 . – 373 p.
42. Francus P. Image Analysis, Sediments and Paleoenvironments . — Dordrecht: Springer, 1998. — 472 p.
43. Leondes C.T. Image Processing and Pattern Recognition / C.T.Leondes . — NY: AP, 1998. — 407 p.
44. Лигун А.О. Комп'ютерна графіка (Обробка та стиск зображень): навч. посіб./ А.О.Лигун, О.О.Шумейко.– Біла К.О., 2010.– 114 с
45. Sangwine S.J. The Color Image Processing Handbook / S.J.Sangwine, R.E.Horne . — Dordrecht: Springer, 2004. - 330 p.

46. Joseph S. Accetta, David L. Shumaker The Infrared and Electro-Optical Systems Handbook. vol. 5. Stephen B. Campana Passive Electro-Optical Systems / Infrared Search and Track Systems. – Infrared Information Analysis Center Environmental Research Institute of Michigan, 2005.
47. G. Labonté , W.C. Deck Infrared Target-Flare Discrimination using a ZISC Hardware Neural Network // Military & Aerospace Electronics. – 2009.
48. Ivanov, V.G., Lyubarskiy, M.G., Lomonosov, J.V. (2007). Cutting of content redundancy of images on the basis of classification of objects and background. Journal of Automation and Information Sciences. Begel House Inc., no. 39 (5), 27-36. [in English].