

НАЦІОНАЛЬНА АКАДЕМІЯ НАУК УКРАЇНИ
ФІЗИКО-МЕХАНІЧНИЙ ІНСТИТУТ ІМЕНІ Г. В. КАРПЕНКА

На правах рукопису

БАТЮК

Анатолій Євгенович

**ЛОКАЛЬНО-АДАПТИВНІ АЛГОРИТМИ ТА
СПЕЦІАЛІЗОВАНІ ВИСОКОПРОДУКТИВНІ ЗАСОБИ ФІЛЬТРАЦІЇ
І РОЗПІЗНАВАННЯ ЗОБРАЖЕНЬ В РЕАЛЬНОМУ ЧАСІ**

Спеціальність: 05.13.14 - системи обробки інформації
та управління

А в т о р е ф е р а т

дисертації на здобуття наукового ступеня
кандидата технічних наук

ЛЬВІВ - 1994



00778444 (Y)

Дисертацією є рукопис

Робота виконана в Фізико-механічному інституті імені

Г.В.Карпенка Національної академії наук України

Науковий керівник: Член-кореспондент НАН України,
докт. техн. наук, професор
Грицик Володимир Володимирович

Офіційні опоненти: докт. техн. наук, професор
Василенко Юрій Андрійович

канд. техн. наук, доцент
Рашкевич Юрій Михайлович

Провідна установа: Інститут кібернетики імені
В.М.Глушкова НАН України, м.Київ

Захист відбудеться "31" 10 1994 р. о 10 год.
на засіданні спеціалізованої ради К 04.01.01 при Фізико-
механічному інституті НАН України (290601, Львів, вул. Нау-
кова, 5).

З дисертацією можна ознайомитись в бібліотеці інституту.

Автореферат розісланий "29" 09 1994 р.

Вчений секретар
спеціалізованої вченої ради,
канд. техн. наук, ст. наук. сп.

Р.А.Вунь

Загальна характеристика роботи

Актуальність роботи. У зв'язку зі стрімким розвитком засобів обчислювальної техніки та розширенням областей застосування методів цифрової обробки зображень і розпізнавання образів особливої актуальності набуває розробка ефективних алгоритмів реалізації таких методів відносно часу обчислень або апаратних (схемотехнічних) затрат при паралельній реалізації. Реальні зображення задаються у вигляді великого масиву даних, а відомі алгоритми в загальному випадку є досить складними обчислювальними процедурами, внаслідок чого їх безпосереднє виконання не є ефективним та не задовільняє умовам реального часу. З другого боку, як правило, коли алгоритми обробки або розпізнавання зображень є простими процедурами, то така обробка не відповідає накладеним умовам на якість результату.

При розпізнаванні зображень суттєве зменшення часу розпізнавання дає процедура попереднього виділення інформативних ознак, в результаті якої відбувається стиск даних зображення. Одним із ефективних підходів до стислого подання зображень є представлення дискретних зображень в пороговому базисі і в просторі інформаційних векторів

Найбільш ефективними алгоритмами обробки зображень є локально-адаптивні алгоритми, які володіють властивістю змінювати свої параметри в залежності від структури зображень. Такі алгоритми є значно складнішими від неадаптивних алгоритмів, наприклад, від лінійної фільтрації. Тому тут особливо актуальною проблемою є розробка швидких алгоритмів для їх реалізації, що дає економію в апаратних затратах. При цьому суттєву економію дає застосування принципу рекурсивного

обчислення деяких локальних характеристик зображення.

Найбільш радикальним засобом підвищення швидкодії обробки зображення є розпаралелювання обчислень, зокрема конвейеризація послідовних етапів обчислень - основний метод досягнення реального часу для спецпроцесорів обробки зображень. При побудові проблемно-орієнтованих систем обробки зображень крім конвейеризації окремих етапів обробки також доцільно використати асинхронне розпаралелювання незалежних гілок алгоритму. Для отримання максимальної швидкодії обробки або розпізнавання зображень важливою задачею є максимальне угодження структури розпаралеленого алгоритму з архітектурою спеціалізованого процесора чи проблемно-орієнтованої системи. Власне такий підхід є актуальним при розробці високоефективних спецпроцесорів адаптивної фільтрації зображень та стиску даних зображень при їх розпізнаванні.

В розробку теорії та ефективних алгоритмів представлення, обробки і розпізнавання зображень суттєвий внесок зробили такі українські вчені як Івахненко О.Г., Васильєв В.І., Василенко Ю.А., Шлезінгер М.І., Гімельфарб Г.Л., Сіроджа І.В., а також зарубіжні спеціалісти: Хуанг Т., Претт В., Начо М., Розенфельд А., Павлідіс Т., Джейн А., Журавльов Ю.І. та інші.

В теорії розпаралелювання алгоритмів та створення систем паралельної обробки даних відомі результати досліджень таких вчених як Малиновський В.М., Грицик В.В., Божь В.П., Вальковський В.О., Самофалов К.Г., Луцький Г.М. та інші.

Мета роботи та задачі дослідження. Метою роботи є розробка локально-адаптивних алгоритмів фільтрації та розпізнавання зображень в режимі реального часу, а також реалізація їх у вигляді спеціалізованих процесорів і проблемно-орієнто-

ваних систем паралельної дії.

Для досягнення поставленої мети в роботі розв'язуються наступні задачі:

- розробка ефективного алгоритму розпізнавання зображень об'єктів з використанням методу представлення їх в пороговому базисі;
- створення на основі розробленого алгоритму проблемно-орієнтованої системи розпізнавання зображень в реальному часі;
- розробка та дослідження ефективних по обчислювальних затратах алгоритмів адаптивної обробки зображень в реальному часі, які дозволяють суттєво зменшити рівень завад без видимого спотворення початкового зображення;
- розробка спеціалізованих квейерних процесорів для реалізації рангової і структурно-адаптивної фільтрації зображень;
- створення проблемно-орієнтованої системи обробки зображень на базі однорідних обчислювальних середовищ, яка дозволяє проводити дослідження, перевірку і реалізацію нових паралельних алгоритмів попередньої обробки зображень.

Методи досліджень. Для вирішення поставлених задач були використані методи теорії обробки і розпізнавання зображень, математичної статистики, алгебри логіки, імітаційного моделювання. При розробці систем та спецпроцесорів обробки зображень використані методи розпаралелювання алгоритмів обробки інформації та методи системного аналізу.

Наукова новизна полягає в:

- розробці та дослідженні ефективного алгоритму представлення двовірних дискретних зображень в пороговому базисі і просторі інформаційних векторів, що допускає ефективне кодування фрагментів зображень, та вирішенні задачі їх класифікації;

- розробці та дослідженні алгоритмів локально-адаптивної фільтрації (структурно-адаптивна та ізотропно-адаптивна) зображень в режимі реального часу, які дозволяють суттєво зменшити рівень завад без видимого спотворення почачового зображення;
- створенні високопродуктивних систем обробки зображень на базі розпаралелювання алгоритмів обробки даних.

На захист виносяться:

- алгоритм порогового представлення зображень, який дозволяє проводити розпізнавання зображень в реальному часі;
- спосіб організації обчислювального процесу та високопродуктивна система для представлення і аналізу зображень в пороговому базисі;
- алгоритми локально-адаптивної фільтрації в реальному часі, які дозволяють істотно зменшити рівень завад без видимого спотворення початкових зображень;
- спеціалізовані паралельно-конвейерні процесори для локально-адаптивної та рангової фільтрації зображень;
- високопродуктивна проблемно-орієнтована система на базі однорідних обчислювальних середовищ для дослідження, перевірки і реалізації нових паралельних алгоритмів попередньої обробки зображень.

Практична цінність. Отримані результати є основою для ефективноі (стосовно часових та схемотехнічних затрат) реалізації методів та алгоритмів локально-адаптивної фільтрації і розпізнавання зображень в реальному часі, що є передумовою широкого практичного впровадження сучасних інформаційних технологій і систем.

Реалізація результатів роботи. Дослідження, які викону-

валися в дисертаційній роботі, проводилися у відповідності з плановою тематикою ФМІ НАН України (Постанови Президії АН УРСР N 535 від 25.11.1983р. і N 474 від 27.12.1985р.); згідно Державної науково-технічної програми 6.02.02, затвердженої ДКНТ України; державних контрактів та господарських договорів. В результаті проведених досліджень були розроблені паралельно-последовні алгоритми попередньої обробки і розпізнавання зображень, реалізація яких у вигляді спеціалізованих процесорів і проблемно-орієнтованих систем дає можливість при порівняно невеликих апаратурних затратах отримати режим реального часу. Створено проблемно-орієнтовану систему "СІРІУС" для розпізнавання зображень об'єктів представлених в пороговому базисі, проблемно-орієнтовану систему "СІГМА" для реалізації паралельно-конвейєрних алгоритмів обробки зображень на однорідних обчислювальних середовищах, спеціалізований процесор "ФІЛЬТР-5" для рангової фільтрації зображень, які впроваджені на ряді підприємств.

Апробація роботи. Основні результати були викладені і обговорені:

- на V, VI, VII Всесоюзних школах-семінарах "Розпаралелювання обробки інформації", Львів, 1985р., 1987р., 1989р.;
- на II Всесоюзній конференції "Автоматизовані системи обробки зображень", Львів, 1986р.;
- на III Всесоюзній конференції "Математичні методи розпізнавання образів", Львів, 1987р.;
- на Всесоюзній конференції "Методи і мікроелектронні засоби цифрової обробки і перетворення сигналів" Рига, 1989р.;
- на Міжнародній конференції "Інформаційні технології для аналізу зображень і розпізнавання образів", Львів, 1990р.;

- на Міжнародній конференції з інформаційних технологій і систем, Львів, 1993р.

Публікації. По темі дисертації опубліковано 19 наукових робіт, в тому числі одна монографія і 10 винаходів.

Структура і об'єм роботи. Дисертація складається з вступу, чотирьох розділів та висновків і викладена на 132 сторінках, має 35 сторінок графічного матеріалу, перелік літератури із 120 найменувань і два додатки. Загальний об'єм дисертації 170 - сторінок.

Зміст роботи

У вступі обгрунтована актуальність теми дисертаційної роботи, дано короткий огляд досліджень по тематиці роботи, сформульована мета роботи і виділені напрямки досліджень для досягнення поставленої мети.

Перший розділ присвячений розробці методу і принципів організації обчислювального процесу представлення бінарних і багаторівневих (багатоградаційних) зображень в пороговому базисі і в просторі інформаційних векторів. Довільне двомірне бінарне зображення A' однозначно задається впорядкованою сукупністю p -фрагментів (N'_1, \dots, N'_t) , які допускають ефективне кодування (в сенсі стиску) інформаційними векторами V_1, \dots, V_t , відносно заданої системи точок розкладу a_1, \dots, a_t . Вводиться поняття індексу j_1 p -фрагменту N'_1 . Розроблений алгоритм G , який однозначно співставляє кожному p -фрагменту N'_1 $(n+1)$ -мірний цілочисельний вектор W_1 . Вектор W_1 називається вектором структури p -фрагменту зображення A' , що задане на рецепторному полі, яке складається із 2^n рецепторів. По вектору W_1 алгоритми J однозначно будує $(n-j_1+1)$ -мірний цілочисельний вектор V_1 ($0 < j_1 < n$), який називає-

ться інформаційним вектором р-фрагменту M_i' . Представлення бінарного зображення A' в просторі інформаційних векторів задається послідовним виконанням наступних відображень

$$A' \xrightarrow{F} (N_1', \dots, N_t') \xrightarrow{G} (W_1, \dots, W_t) \xrightarrow{J} (V_1, \dots, V_t)$$

і обґрунтовується тим, що:

- кожний р-фрагмент N_i' зображення A' стисло кодується своїм інформаційним вектором V_i ;
- в просторі інформаційних векторів побудований функціонал μ^* , який дозволяє формалізувати поняття міри "подібності" р-фрагментів і побудувати ефективний алгоритм класифікації дискретних зображень;
- в просторі інформаційних векторів знайдені інваріанти відносно групових перетворень рецепторного поля, які породжені симетричною і абелевою групами.

В основі порогового представлення дискретних зображень покладено взаємнооднозначне відображення φ , на основі якого кожному рецептору, що належить нормалізованому бінарному зображенню A' рецепторного поля $2^r \times 2^s$, ставимо у відповідність n-мірний ($n=r+s$) булевий вектор $a = (\alpha_1, \dots, \alpha_n)$. Через A позначимо множину всіх тих булевих векторів, які відповідають A' при відображенні φ , тобто $A = \varphi(A')$. Визначимо дію $a \cdot b = (\alpha_1, \dots, \alpha_n)$ і елементу b симетричної групи S_n на A так:

$$aA = \{ (\alpha_1 \oplus \beta_1, \dots, \alpha_n \oplus \beta_n) \mid (\beta_1, \dots, \beta_n) \in A \},$$

$$A^G = \{ (\beta_{\sigma(1)}, \dots, \beta_{\sigma(n)}) \mid (\beta_1, \dots, \beta_n) \in A \},$$

де \oplus - додавання за mod 2.

Максимальна підмножина $H = p(AA)$ множини A , яка містить точку $a \in A$ і підлягає умові:

$$\|p(a^G A^G)\| = (L_1 \frac{0 \dots 0}{n-1} \prod_{j=0}^{n-1} L_j^{n-j} \prod_{i=0}^{n-1} (q_i) \frac{0 \dots 0}{n-(1+i)}),$$

називається р-підмножиною множини A відносно точки a з ін-

дексом j і параметром $b_n = b$, де $q_0 > q_1 > \dots > q_{n-j}$; L_j , L_{j+r}^* (q_r) - відповідно матриця та передматриця толерантності, Π - операція над ними, $||p(a^b A^c)||$ - матриця, стрічками якої є елементи $p(a^b A^c)$. Якщо H - розкладна підмножина відносно $a \in A$, то $H' = \varphi^{-1}(H)$ називається p -фрагментом зображення A' відносно точки a . Для кожного A' можна вказати такі точки $a_1, \dots, a_t \in A$, що $A = \bigcup_{i=1}^t P_{a_i}^{b^1}(a_i A)$, $t \rightarrow \min$.

Точки a_1, \dots, a_t назовемо точками розкладу зображення A' . Кожний p -фрагмент $\varphi^{-1}(P_{a_i}^{b^1}(a_i A))$ зображення A' однозначно задається $(n+1)$ -мірним цілочисельним вектором W_i .

Відображення $A' \xrightarrow{G} (W_1, \dots, W_t)$ назовемо представленням зображення A' в пороговому базисі відносно точок розкладу a_1, \dots, a_t .

Теорема. Нормалізовані двомірні бінарні зображення A'_1 і A'_2 ідентичні тоді і тільки тоді, коли існують такі точки $a_1, \dots, a_t \in A_1 \cap A_2$, для яких співпадають їх представлення в пороговому базисі.

Ця теорема покладена в основу розробки алгоритмів розпізнавання двомірних дискретних зображень представлених в пороговому базисі.

Подальші дослідження з питань представлення p -фрагментів $\varphi^{-1}(P_{a_i}^{b^1}(a_i A))$ з індексом j_1 показали, що p -фрагмент $\varphi^{-1}(P_{a_i}^{b^1}(a_i A))$ однозначно може бути заданий $(n-j_1+1)$ -мірним інформаційним вектором V_i , який на відміну від звичайним представленням p -фрагмента на рецепторному полі, забезпечує кодування фрагменту з коефіцієнтом стиску α_i :

$$\alpha_i \rightarrow 2^n / j_1 \cdot (n - j_1 + 1).$$

Відображення $A' \xrightarrow{J} (V_1, \dots, V_t)$ називається представленням зображення A' в просторі інформаційних векторів

стосовно точок розкладу a_1, \dots, a_t .

Представлення зображення A' в просторі інформаційних векторів дозволяє відповісти на питання про можливість стиску початкового зображення A' (без втрати інформації, тобто зі збереженням однозначного відновлення A' по інформаційних векторах) в k раз? Така можливість існує, якщо число точок розкладу t задовільняє нерівності: $t < (n + 1)^2 / (4 \cdot k)$.

Інформаційні вектори p -фрагментів є математичними ознаками, і вони мають дві принципові особливості:

- є загальними за своєю природою,
- зручні при комп'ютерній обробці.

Необхідно відзначити, що вищенаведений метод представлення бінарних та багаторівневих зображень в пороговому базисі і просторі інформаційних векторів можна застосовувати також до двомірних багатоградацийних зображень та до багатомірних дискретних зображень. При цьому вирішується питання виділення ознак для цих зображень, які є визначальними при розпізнаванні образів. Адже вибір адекватної множини ознак, що враховує труднощі, які пов'язані з реалізацією процесів виділення і забезпечує необхідну якість класифікації, являє собою одну з найбільш важких задач побудови розпізнаючих систем. В даній роботі запропоновано варіант роз'язку цієї задачі як алгоритмічний, так і схемотехнічний. Зокрема розроблено спецпроцесор "Сіріус-1", який формує інформаційні вектори p -фрагментів в двомірних багатоградацийних зображеннях для проблемно-орієнтованої системи "СІРІУС" стиску і розпізнавання зображень об'єктів.

У другому розділі запропоновано алгоритм класифікації зображень представлених в пороговому базисі та просторі ін-

формаційних векторів, а також описуються схемо-технічні та програмні засоби реалізації даного алгоритму.

Початкові дані для проведення обчислень передаються із спецпроцесора по кожній точці розкладу еталону або зображення у виді масиву представленого на мал.1. Всі елементи масиву є двобайтовими машинними словами. Тип обміну між спецпроцесором і комп'ютером - по запиту з комп'ютера. Завершується масив словом-обмежувачем 377. В кожному слові l_i значущі розряди зміщені в крайнє ліве положення.

j	r	l_0	l_1	...	l_r	377
---	---	-------	-------	-----	-------	-----

Мал.1. Вид масиву інформації, що передається із спецпроцесора в персональний комп'ютер по одній точці розкладу.

Можливі три варіанти інформації, що поступає (в залежності від різних значень j та r , де j - індекс р-фрагменту N матриці толерантності L ; r - кількості останніх стрічок l_i матриць толерантності L^*_j , що співпали з відповідними векторами множини $A - \varphi(A')$):

1. $j=0$, $r=0$. В цьому випадку матриця толерантності не існує, ні одне з обчислень не виконується, а відразу відбувається присвоєння $\mu_k(V^k_1, U_1) = 1$ для $1, k = \text{const}$.

де $\mu_k(V_1, U_1)$ - міра "відмінності" інформаційних векторів V_1 , U_1 р-фрагментів бінарних зображень A' , B' ;

V^k_1 - інформаційний вектор еталону A' ;

U_1 - інформаційний вектор бінарного зображення B' ;

i - індекс точки розкладу;

k - індекс еталонного зображення.

2. $j > 0$, $r = 0$, тобто за полем j відразу маємо обмежувач.

В цьому випадку без побудови цілочисельного вектору структу-

ри W_1 створюється $(n-j+1)$ -мірний вектор $U_1 = (-1, -1, \dots, -1)$, і далі обчислення ведуться по загальному алгоритму.

3. $j > 0$, $r > 0$. Матриця толерантності існує. В цьому випадку повністю реалізуються операції порівняння з еталонними зображеннями - побудова цілочисельного вектора структури W_1 , обчислення інформаційного вектора U_1 , заповнення матриці F та її аналіз.

Цілочисельний вектор структури W_1 має вид:

$$W_1 = (\omega_1, \dots, \omega_j, \omega_{j+1}, \dots, \omega_{j+r}, \omega_{j+r+1}, \dots, \omega_n, \omega_0),$$

причому: $\omega_1 = -1$, $\omega_2 = \omega_1 - 1$, $\omega_3 = \sum \omega_c - 1$;

$\omega_{j+1}, \omega_{j+2}, \dots, \omega_{j+r}$ послідовно знаходимо з рівностей скалярних добутків векторів $(1_d, W_d) = (1_{d-1}, W_{d-1})$, $d=1, 2, \dots, r$;

$$\omega_{j+r+1} = \omega_{j+r+2} - \dots - \omega_n = (1_r, W_r) - 1;$$

$$\omega_0 = (1_r, W_r)$$

По відомому вектору структури W_1 знаходимо інформаційний вектор U_1 для однієї i -тої точки розкладу:

$$U_1 = (u^i_1, u^i_2, \dots, u^i_{n-j+1}),$$

де $u^i_r = \omega_{j+r-1} - \omega_0$, $r=1, 2, \dots, n-j+1$.

Для побудови матриці F необхідно отримати інформаційні вектори еталонів і зображень по кожній точці розкладу a_1, a_2, \dots, a_t .

Матриця F , є результатом взаємодії отриманих інформаційних векторів зображення і відповідних інформаційних векторів еталонів

$$F = F_{ki} = \mu(v^{k_i}, U_i) = \mu(v^{k_i}, U_i) / (\mu(v^{k_i}, U_i) + v(v^{k_i}, U_i)).$$

Для обчислення F_{ki} попередньо необхідно обчислити допоміжні значення $\mu(v^{k_i}, U_i)$, $v(v^{k_i}, U_i)$. В залежності від розмірностей $\lambda(V_i) = n - j_A + 1$, $\lambda(U_i) = n - j_B + 1$, інформаційного вектора еталону та інформаційного вектора зображення можливі три ва-

ріанти обчислення цих значень.

В кожному стовпці побудованої матриці F знаходимо мінімальний елемент (мінімальні елементи):

$$F_{ki} = \min \{F_{1i}, F_{2i}, \dots, F_{si}\}$$

при $k = 1, 2, \dots, s; i = 1, 2, \dots, t;$

де s - кількість еталонів, t - кількість точок розкладу.

На місці мінімальних елементів записуються одиниці, на місці інших - нулі. Для кожної стрічки обчислюється сума одиниць на місці мінімальних елементів.

$$F_k = \sum_{i=1}^t F_{ki} \quad \text{при } k = 1, 2, \dots, s.$$

Здійснюється пошук максимального елемента у векторі $\{F_k\}$ при $k = 1, 2, \dots, s$. Якщо цей максимальний елемент єдиний, то його порядковий номер k приймається як номер відповідного еталону. Інакше, в тих стрічках, які відповідають максимальним елементам $\max \{F_k\}$ проводиться обчислення

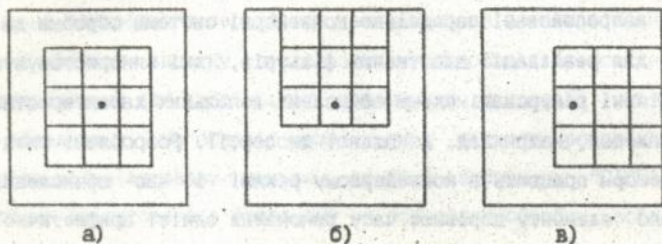
$$F^*_k = \sum_{i=1}^t F_{ki} \cdot F_{ki}.$$

Далі відбувається пошук $\min \{F^*_k\}$. Якщо такий $\min \{F^*_k\}$ єдиний, то його порядковий номер k приймається як номер відповідного еталону. Інакше, робиться висновок про неможливість здійснити розпізнавання.

В третьому розділі запропоновано алгоритми попередньої обробки зображень та описана їх апаратна (схемотехнічна) реалізація для реального масштабу часу.

Як найбільш ефективні для якісної обробки зображень вибрані локально-адаптивні алгоритми фільтрації зображень. Розглянуті два типи таких алгоритмів, а саме ізотропно-адаптивні та структурно-адаптивні алгоритми. В ізотропно-адаптивних алгоритмах значення елемента зображення (піксела) обчислюється по симетричному окладу біжучої точки, а у випадку

лінійної фільтрації коефіцієнти відповідного лінійного фільтра мають кругову симетрію. Прикладом такого фільтра для зменшення рівня завад в зображенні є розроблений адаптивний медіанний фільтр, в якому розмір вікна (апертури) для обчислення локальної медіани змінюється і є обернено пропорційним до величини локальної дисперсії.



Мал.2. Приклади локальних областей для структурно-адаптивної фільтрації зображень.

В структурно-адаптивних алгоритмах результат фільтрації обчислюється по несиметричному околу біжучої точки. Такий окіл вибирається на основі обчислення значень локальних характеристик зображення залежно від поставленої задачі. Наприклад, при розв'язуванні задачі зменшення рівня адитивного шуму запропоновано наступний спосіб обчислення результату фільтрації. В залежності від вибраної математичної моделі зображення визначаються K локальних областей, кожна з яких включає біжучу точку (i, j) і які мають різне розташування (мал.2). Для цих областей обчислюються K локальних середніх значень $\{ a_k(i, j) \}$ та дисперсій $\{ d_k(i, j) \}$. Тоді значення результату фільтрації $f(i, j)$ в точці (i, j) обчислюється наступним чином: $f(i, j) = \alpha \cdot g(i, j) + (1 - \alpha) \cdot a_1(i, j)$, де $0 < \alpha < 1$ - постійний коефіцієнт згладжування;

$l = \arg \min (d_k(i,j))$. Даний алгоритм фільтрації дає можливість суттєво зменшити рівень завад l в той же час не спотворити початкове зображення, як це часто буває при лінійній фільтрації.

Оскільки адаптивна фільтрація є значно складнішою за обчисленнями від неадаптивної лінійної фільтрації, то актуальною задачею є її реалізація в реальному часі. В даній роботі запропоновані паралельно-конвейєрні системи обробки даних для реалізації адаптивних фільтрів, які використовують ефективні рекурсивні схеми обчислень локальних характеристик зображення, наприклад, локальної дисперсії. Розроблені спец-процесори працюють в конвейєрному режимі і час обчислення одного елемента дорівнює часу виконання однієї арифметичної операції, що забезпечує їх високу швидкість та можливість застосування в системах реального часу.

Четвертий розділ присвячений організації обчислювального процесу обробки даних в однорідному обчислювальному середовищі (ОС), розглядається запропонована система обробки зображень на ОС та приводяться приклади реалізації модулів обчислення функцій \min , \max , $\min\max$ і алгоритм рангової фільтрації зображень, що поступають в темпі телевізійного стандарту.

Обчислювальний процес в ОС являє собою безперервну і регулярну передачу і обробку даних від одного процесорного елемента до іншого без запам'ятовування проміжних результатів обчислень. Обробка інформації проводиться в конвейєрному режимі. Конвейєрний режим дозволяє багаторазово і ефективно використовувати елементи даних, що хоч раз поступили на вхід обчислювального середовища. Це дозволяє уникнути часових

затрат на звертання до пам'яті, а також на виконання таких команд. Саме ця можливість виділяє однорідні обчислювальні середовища серед великої кількості різноманітних спеціалізованих обчислювальних середовищ і забезпечує значне підвищення продуктивності при відповідному збереженні гнучкості. Для деяких класів задач пропускна здатність ООС в порівнянні з традиційними ЕОМ вища на 2-3 порядки. Можливість переналаштування однорідного середовища дозволяє реалізувати в кожному конкретному випадку спеціалізовану обчислювальну систему з оптимальним для даної задачі відношенням швидкодії і об'єму обладнання. На основі розглянутого підходу розроблено проблемно-орієнтовану систему обробки зображень "СІГМА". Система орієнтована в основному на попередню обробку зображень і призначена для вирішення наступних задач:

1) налаштування модулів різних арифметичних і логічних операцій;

2) налаштування алгоритмів обробки одномірних і двомірних масивів інформації на базі обчислювача із однорідних середовищ;

3) дослідження ефективності даних алгоритмів при обробці одномірних і двомірних масивів інформації;

4) створення бібліотек модулів і алгоритмів обробки одномірних і двомірних масивів інформації на базі ООС;

5) видача рекомендацій по застосуванню різноманітних алгоритмів для обробки одномірних і двомірних масивів інформації на ООС;

6) практичне вирішення задач обробки зображень в системах реального часу.

Основні результати роботи

1. Розроблено та досліджено ефективний алгоритм представлення і розпізнавання зображень в пороговому базисі та в просторі інформаційних векторів.
2. Досліджено можливості розпаралелювання обчислень та запропоновано спосіб організації обчислювального процесу при реалізації методу представлення і аналізу зображень в пороговому базисі.
3. Створено проблемно-орієнтовану систему на базі персонального комп'ютера та спеціалізованого процесора для розпізнавання двомірних дискретних зображень в реальному часі.
4. Розроблено та досліджено ефективні по обчислюваних затрах алгоритми адаптивної фільтрації зображень, які дозволяють істотно зменшити рівень шуму без видимого спотворення початкового зображення.
5. На основі запропонованих алгоритмів структурно-адаптивної та рангової фільтрації зображень розроблені спеціалізовані процесори паралельно-конвейерної обробки інформації.
6. Створено проблемно-орієнтовану систему на базі однорідних обчислювальних середовищ для дослідження, перевірки і реалізації нових паралельних алгоритмів попередньої обробки зображень, яка немає аналогів у вітчизняному приладобудуванні.
7. Розроблені обчислювальні системи та спеціалізовані процесори фільтрації та розпізнавання зображень впроваджено на ряді підприємств.

Основні результати дисертаційної роботи викладені в наступних публікаціях:

1. Параллельная обработка информации: Г.5. Проблемно-ориентированные и специализированные средства обработки информации

- / А.И.Аксенов, В.В.Аристов, А.Е.Ватюк; Под ред. Б.Н.Малиновского и В.В.Грицька. - Киев: Наук. думка, 1990. - С.319-364.
2. Getche F.E., Batyuk A.E. Digital Images Representation by Data Vectors / First international conference on information technologies for image analysis and pattern recognition: Proceedings. - Lviv: IPM USSR AS, 1990. - V.1.- P.299-303.
3. Batyuk A.E., Getche F.E. Organization of Computational Process for Digital Image Representation by Informational Vectors / Ibid.-P.253-259.
4. А.с. 1295427 СССР, МКИ⁴ G06 K9/36. Устройство для обработки изображений объектов / А.Е.Ватюк, В.В.Грицьк, А.Ю.Луцьк, Р.М.Паленичка. - Оpubл. 07.03.87. Бюл. N9.
5. А.с. 1320876 СССР, МКИ⁴ H03 N17/00, H04 N5/14. Двумерный цифровой фильтр / А.Е.Ватюк, В.В.Грицьк, А.Ю.Луцьк, Р.М.Паленичка. - Оpubл. 30.06.87. Бюл. N24.
6. А.с. 1363534 СССР, МКИ⁴ H04 N5/14. Устройство для фильтрации телевизионного сигнала / А.Е.Ватюк, В.В.Грицьк, А.Ю.Луцьк, В.Я.Михальчшин, Р.М.Паленичка. - Оpubл. 30.12.87. Бюл. N48.
7. А.с. 1388915 СССР, МКИ⁴ G06 K9/00. Устройство для обработки изображений / А.Е.Ватюк, В.В.Грицьк, А.Ю.Луцьк, Р.М.Паленичка - Оpubл. 15.04.88. Бюл. N14.
8. А.с. 1644162 СССР, МКИ⁴ G06 F15/36,15/353. Устройство для адаптивного скользящего сглаживания / А.Е.Ватюк, В.В.Грицьк, А.Ю.Луцьк, Р.М.Паленичка. - Оpubл. 23.04.91. Бюл. N15.
9. А.с. 1647607 СССР, МКИ⁴ G06 K9/00. Устройство для обработки изображений объектов / А.Е.Ватюк, В.В.Грицьк, А.Ю.Луцьк, Р.М.Паленичка, Т.П.Пахолук. - Оpubл. 07.05.91. Бюл. N17.
10. А.с. 1672488 СССР, МКИ⁴ G06 K9/00. Устройство для коррекции телевизионных сигналов изображений / А.Е.Ватюк, В.В.Гри-

- цык, А.Ю.Луцк, Р.М.Паленичка. - Оpubл. 23.08.91. Бюл. N31.
11. А.с. 1695319 СССР, МКИ⁴ ГОБ F15/16, 15/347, 15/80. Матричное вычислительное устройство / А.Е.Батюк, В.В.Грицк, А.Ю.Луцк, Ю.В.Опотяк, Р.М.Паленичка, О.Е.Чопко. - Оpubл. 30.11.91. Бюл. N44.
12. А.с. 1725240 СССР, МКИ⁴ ГОБ K9/62. Устройство для распознавания образов / А.Е.Батюк, В.В.Грицк, Ф.Э.Гече, А.Ю.Луцк, Р.М.Паленичка. - Оpubл. 07.04.92. Бюл. N13.
13. А.с. 1751784 СССР, МКИ⁴ ГОБ K9/00. Устройство для обработки изображений / А.Е.Батюк, В.В.Грицк, А.Ю.Луцк, Р.М.Паленичка. - Оpubл. 30.07.92. Бюл. N28.
14. Батюк А.Е. Конвейерная система псевдомедианной фильтрации изображений / Двенадцатая конференция молодых ученых Физ.-мех. ин-та АН УССР. - Львов: ФМИ АН УССР, 1985. С.23-25 - Деп. в ВИНТИ 21.02.86, N 1240-В86.
15. Батюк А.Е., Луцк А.Ю., Пеленский А.Л. Обработка изображений на базе мультиконвейерных вычислительных структур / Вторая Всес. конф. "Автоматизированные системы обработки изображений": Тез. докл. - Львов, 1986. С.276-277.
16. Батюк А.Е. Информационно-вычислительная система для распознавания изображений / Третья Всес. конф. "Математические методы распознавания образов": Тез. докл. - Львов: ФМИ АН УССР, 1987. - Ч.2. - С.264-265.
17. Батюк А.Е. Спецпроцессор сжатия зрительной информации / Там же. - С.266-267.
18. Гече Ф.Э., Батюк А.Е., Добощ М.В. Признаковые отношения толерантности в задачах распознавания изображений / Седьмая Всес. шк.-семинар "Распараллеливание обработки информации": Тез. докл. и сообщ. - Львов: ФМИ АН УССР, 1989. - Ч.2. - С.34-37.

19. Батюк А.Е., Лудьк А.Ю., Опотяк Ю.В., Чопко О.В. Система обработки изображений на однородной вычислительной среде / Всес. конф. "Методы и микроэлектронные средства цифровой обработки и преобразования сигналов": Тез. докл. - Рига: Ин-т электрон. и вычислит. техн., 1989. - Т.1. - С.297-298.

Особистий вклад. Всі результати, що складають основний зміст дисертаційної роботи, отримані автором самостійно. В публікаціях, які написані у співавторстві, дисертантові належать: в роботах [1-3,12,18] - алгоритм представлення і класифікації двовірних дискретних зображень в пороговому базисі, а також структура та спосіб організації обчислювального процесу в високопродуктивній системі з ропаралелюванням обчислень для реалізації даного алгоритму; в [5-10,13] - розробка структурно-адаптивних алгоритмів фільтрації зображень та адаптивних алгоритмів рангової фільтрації і систем для обробки зображень в реальному часі; в [11,15,19] - розробка структури та способу організації обчислювального процесу у високопродуктивній системі обробки зображень на ООС;

Батюк А.Е. Локально-адаптивные алгоритмы и высокопроизводительные средства фильтрации и распознавания изображений в реальном времени.

Диссертация (рукопись) на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.13.14 - системы обработки информации и управления, Физ. - мех. ин-т НАН Украины, Львов, 1994.

Проведены теоретические исследования локально-адаптивных алгоритмов фильтрации и распознавания изображений. Рассмотрены вопросы реализации данных алгоритмов в виде специализированных

процесорів і проблемно-орієнтованих висчислювальних систем паралельного дійства, забезпечуючих обробку телевізійних зображень в режимі реального часу. Розроблена проблемно-орієнтована система на базі однорідних висчислювальних серед для дослідження, перевірки і реалізації паралельних алгоритмів попередньої обробки зображень.

Batyuk A.Ye. Locally-Adaptive Algorithms and High-Productive Means of Filtering and Image Recognition in Real Time. Dissertation (Manuscript) for obtaining of scientific degree of Candidate of Sciences (Engineering) for the speciality 05.13.14 - systems of information processing and control, Physical and Mechanical Institute of National Academy of Sciences of Ukraine, Lviv, 1994.

Theoretical investigations of locally-adaptive filtering algorithms and image recognition have been carried out. The questions of the algorithms implementation in a form of special-purpose processors and parallel problem-oriented systems are considered. These special-purpose processors and systems provide the TV image processing in real time. Problem-oriented system on the base of homogeneous computing media for investigation, testing and realization of parallel algorithms of image preprocessing have been designed.

Ключові слова: локально-адаптивна обробка зображень, розпізнавання образів, розпаралелювання алгоритму, спеціалізований процесор, проблемно-орієнтована система.

Handwritten signature

Підписано до друку 20.09.94р. Формат паперу 60х84 1/16.ПапІр офсетний№ 2.
Друк офсетний.Ум.др.арк. 1.3. Ум.фарбо-відб.1.3. Тираж 100.Зам.1289.

Навчально-виробничі майстерні Львівського поліграфічного технікуму.
290004, м.Львів, вул.Винниченка, 12.

AB 31.000
AB 31.000