ВІННИЦЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ

На правах рукопису

КОЛЕСНИЦЬКИЙ Олег Костянтинович

ОПТОЕЛЕКТРОННІ АНАЛОГО-ЦИФРОВІ КАРТИННІ ПЕРЕТВОРЮВАЧІ ДЛЯ ПАРАЛЕЛЬНИХ ІНФОРМАЦІЙНО-ВИМІРЮВАЛЬНИХ СИСТЕМ ОБРОБКИ ЗОБРАЖЕНЬ

Спеціальність 05.11.16 – інформаційно-вимірювальні системи (в науці і промисловості)

Автореферат дисертації на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук

Вінниця – 1993

ЛННБ України ім.В.Стефаника
00802883 (Т)
АВ28856

Дисертацією є рукопис

Робота виконана на кафедрі нарисної геометрії і машинної графіки Вінницького політехнічного інституту

Науковий керівник: доктор технічних наук, професор
КОЖЕМ'ЯКО Володимир Прокопович.

Офіційні опоненти: доктор технічних наук, професор
ШЕДЕЛКО Владислав Дмитрович;
кандидат технічних наук, доцент
ПУШИЛО Володимир Іванович

Провідна організація: Інститут фізики напівпровідників Академії наук України, м.Київ

Захист дисертації відбудеться "15" січня 1994 р. на засіданні спеціалізованої вченої ради Д 10.01.01 у Вінницькому політехнічному інституті за адресою:
286021, м.Вінниця, вул. Хмельницьке шосе, 95, ВПІ.

З дисертацією можна ознайомитись у бібліотеці ВПІ.

Автореферат розісланий "29" листопада 1993 р.

Вчений секретар
спеціалізованої вченої ради С.В.Ткачук

ЛНБ ім. В. Стефаника
АН України

В-28.856

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність проблеми. Останнім часом інтенсивно досліджуються оптичні методи та засоби паралельної цифрової обробки зображень, які, на відміну від аналогових, характеризуються функціональною гнучкістю та високою точністю. Певні успіхи досягнуті в області створення двомірних логічних, запам'ятовуючих і комутаційних пристроїв для паралельних інформаційно-вимірювальних систем обробки зображень (ІВСОЗ) на базі цифрових оптоелектронних процесорів (ЦОЕП) з продуктивністю 10^9–10^{12} біт/с.

"Вузьким місцем" в паралельних ІВСОЗ на базі ЦОЕП є АЦП зображень, призначені для перетворення реальних напівтонових зображень, що підлягають обробці, в ряд бінарних картин, які є операндами ЦОЕП. Відомі пристрої оцифровки зображень із скануванням та построчним перетворенням не придатні до використання в паралельних ІВСОЗ на базі ЦОЕП через недостатні продуктивність (до 5×10^6 біт/с) та темп введення зображень в ЦОЕП (не більше 50 кадрів/с), що обмежує швидкодію ІВСОЗ в цілому. Розв'язати проблему збільшення темпу введення реальних зображень та підвищення загальної продуктивності ІВСОЗ дозволить створення багатоканальних АЦП зображень з оптичними входами та виходами, всі канали яких працюють паралельно по часу. Такі АЦП зображень називають картинними, а актуальність їх розробки та дослідження підсилюється ще й тим, що вони являються багатофункціональними вузлами ІВСОЗ. Крім свого основного призначення (а-ц-перетворення), аналого-цифрові картинні перетворювачі (АЦКП) можуть виконувати ще ряд функцій: цифрове підсумовування бінарних картин, обчислення логічних функцій, цифрову фільтрацію зображень та ін. Це дозволяє використовувати їх не тільки для вводу зображень, але й для їх обробки.

Мета роботи – розробка та дослідження алгоритмів роботи, структур і варіантів технічної реалізації високопродуктивних ана-

лого-цифрових картинних перетворювачів (АЦКП), дослідження їх параметрів точності.

Для досягнення поставленої мети вирішуються такі задачі:

1.Проведення аналітичного огляду та класифікації АЦКП, обґрунтування вимог до їх параметрів.

2.Розробка та дослідження алгоритмів роботи, структур і варіантів реалізації логіко-часового АЦКП, трьох АЦКП порозрядного кодування з аналоговими операціями та АЦКП з компаратором зображень.

3.Дослідження функціональних можливостей АЦКП, розробка принципів управління функцією перетворення логіко-часового АЦКП.

4.На основі аналітичних методів та моделювання на ЕОМ дослідження похибок АЦКП і факторів, від яких вони залежать.

5.Дослідження варіантів реалізації розроблених АЦКП на різних видах елементної бази.

6.Оцінка ефективності запропонованих АЦКП.

7.Створення макетів АЦКП та їх функціональних вузлів, проведення експериментальних досліджень.

Методи досліджень базуються на використанні математичного аналізу, теорії інформації, теорії ймовірностей, булевої алгебри логіки, методів цифрової обробки зображень та методів проектування електронних та оптоелектронних пристроїв.

Наукова новизна роботи:

1. Проведено класифікацію АЦКП.

2. Розроблено логіко-часовий (ЛЧ) спосіб АЦКП, а також такі способи для АЦКП порозрядного кодування, як "доповнення" та "симетрування", модернізовано спосіб "вичерпування". Проведені теоретичні дослідження цих способів.

3.Виведені аналітичні вирази для оцінки інструментальної похибки логіко-часового (ЛЧ) АЦКП для різних законів перетворення оптичної потужності в часовий інтервал.

4.Запропонована методика машинного моделювання АЦКП "вичерпування", "доповнення" та "симетрування".

5.Розроблені та досліджені схемотехнічні та конструктивно-технологічні варіанти реалізації запропонованих АЦКП на різних видах елементної бази.

Практична цінність результатів роботи лягає в тому, що:

1.Зроблено класифікацію АЦКП, яка відображує принципи їх структурної організації, функціонування та види елементної бази.

2.Розроблені алгоритми роботи, структурні схеми, математичні моделі та принципи управління функцією перетворення різних АЦКП.

3.Визначено залежності для інструментальної похибки ЛЧ АЦКП від параметрів геометричного шуму елементної бази для різних законів перетворення оптичної потужності в часовий інтервал.

4.Зроблено оцінку ефективності ЛЧ АЦКП та трьох АЦКП з аналоговими операціями. Найбільш ефективним виявився ЛЧ АЦКП.

5.В результаті моделювання на ЕОМ досліджені діапазони зміни статичної сумарної похибки АЦКП "вичерпування", "доповнення" та "симетрування" та значення внесків в загальну похибку АЦКП параметрів геометричного шуму різних функціональних вузлів.

6.Розроблені варіанти технічної та конструктивно-технологічної реалізації АЦКП в цілому та їх функціональних вузлів. Виготовлено та досліджено макети ЛЧ АЦКП та D-тригеру картинного типу.

7.Розроблено практичні схеми широтно-імпульсних та фазо-імпульсних модуляторів (ШІМ та ФІМ) оптичних сигналів, перетворювачів світло-частота та компараторів оптичних сигналів на біспін-приладах, проведено їх експериментальні дослідження.

Реалізація результатів роботи.

Результати дисертаційної роботи були використані при розробці аналого-цифрового картинного перетворювача для векторно-матричного перемножувача оптичного цифрового процесора обробки радіосигналів

в НДІРО НВО "Вега" (Москва) з ефектом 54 тис.крб. (в цінах 1991р.)

На захист виносяться:

1.Алгоритм роботи та структура логіко-часового способу АЦКП.

2.Алгоритми роботи, структури та математичні моделі способів "вичерпування", "доповнення" та "симетрування".

3.Аналітичні вирази для оцінки інструментальної похибки ЛЧ АЦКП з різними законами перетворення оптичної потужності в часовий інтервал.

4.Методика машинного моделювання АЦКП "вичерпування", "доповнення" і "симетрування".

5.Нові технічні рішення запропонованих АЦКП з використанням різних видів елементної бази.

6.Нова технічна реалізація АЦКП з компаратором зображень та схемотехнічні рішення компараторів оптичних сигналів на біспін-приладах.

Апробація роботи. Результати дисертаційної роботи доповідались на II Всесоюзній конференції по оптичній обробці зображень (Фрунзе, 1990), на радянсько-китайському семінарі "Holography and optical information processing" (Бішкек, 1991), на Другому відкритому радянсько-німецькому семінарі "Pattern recognition and image processing" (С-Петербург, 1991) та на Міжнародній конференції "Optical Computing" (Мінськ,1992).

Публікації. Основні результати роботи викладені в 28 друкованих роботах, з яких - 6 авторських свідоцтв та 6 позитивних рішень на видачу авторського свідоцтва.

Обсяг та структура дисертації. Робота викладена на 137 сторінках машинописного тексту, ілюструється малюнками на 39 сторінках, таблицями на 5 сторінках, складається з вступу, чотирьох розділів, висновку, переліку використаної літератури з 104 назв на 10 сторінках і чотирьох додатків на 17 сторінках.

ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

У вступі обгрунтовано актуальність розробки та дослідження аналого-цифрових картинних перетворювачів (АЦКП) для паралельних ІВСОЗ на базі цифрових оптоелектронних процессорів (ЦОЕП), сформульовано мету роботи та основні положення, що виносяться на захист, наведено відомості про апробацію роботи та її обсяг.

В першому розділі розглянуто роль і місце АЦКП в паралельних ІВСОЗ. Показано, що вони можуть служити не тільки пристроями введення реальних напівтонових зображень в ЦОЕП, але й виконувати ряд інших функцій обробки зображень. Основними функціями любого АЦКП є: 1)а-ц-перетворення напівтонових зображень в ряд бінарних картин; 2)цифрове підсумовування бінарних картин; 3)виконання логічних функцій "І" та "mod 2"; 4)перетворення змішанного коду в двоїчний (в векторно-матричних та матрично-матричних перемножувачах); 5) цифрова фільтрація зображень.

На основі вимог до ЦОЕП сформульовано основні вимоги до АЦКП: 1)продуктивність - 10^9-10^{11} біт/с; 2)кількість просторових відліків в бінарній картині - 10^3-10^5 на апертурі не більше 3х3 $см^2$; 3) час перетворення - порядку 1 мкс; 4)кількість достовірно розрізнямих градацій оптичної потужності - 64 (6 двоїчних розрядів).

Приведено класифікацію АЦКП, основними ознаками якої є: 1)метод а-ц-перетворення; 2)спосіб формування вихідних бінарних картин (часовий та просторовий); 3)тип коду перетворення; 4)визначувані значення сигналів зображення (миттєві, інтегральні); 5)наявність попереднього перетворення оптичного сигналу в іншу фізичну величину; 6)елементна база.

Показано,що за теперішнього часу АЦКП можна реалізувати на трьох видах елементної бази: 1)просторово-неперервні оптоелектронні структури (ПНОЕС)- різноманітні оптично керовані транспаранти (ОКТ), модулятори світла, оптоелектронні затвори та ін.; 2)просто-

рово-дискретні оптоелектронні структури (ПЩОЕС)- матриці оптоелектронних чарунок з оптичними входами та виходами; 3)оптичні бістабільні елементи (ОБЕ). Розглянуто основні параметри, переваги та недоліки кожного виду елементної бази.

Зроблено аналітичний огляд відомих досліджень АЦКП, виявлено їх недоліки. Сформульовано цілі та задачі досліджень.

В другому розділі розроблено та досліджено логіко- часовий (ЛЧ) спосіб АЦКП. Алгоритм його роботи полягає в тому, що сукупність оптичних потужностей дискретних відліків зображення одночасно (паралельно) перетворюється у сукупність тривалостей часових інтервалів (блок 1 на рис.1), представлених часом затримки короткого оптичного імпульсу відносно запускаючого. Сукупність оптичних сигналів розмножується мультиплікатором зображень 2 на n картин, кожна з яких потрапляє на відповідний двомірний D-тригер. Процес квантування та кодування часових інтервалів здійснюється на стробованих D-тригерах $З_i$ шляхом фіксування в моменти їх закінчення логічних станів розрядних кодових послідовностей $У_1$-$У_n$ використо-

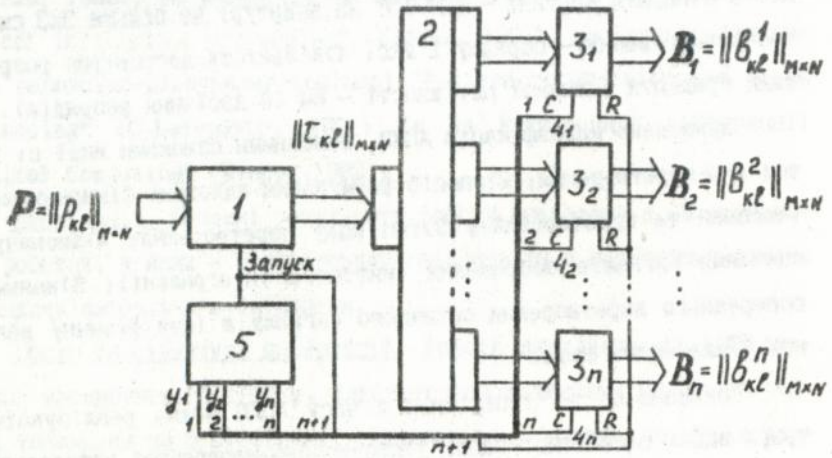

Рис.1. Структурна схема логіко-часового способу АЦКП.

вуємого коду. Можливість багатоінтервальної часової селекції затриманих імпульсів надає цьому способу широкі функціональні можливості. Причому, вибір виконуємої функції здійснюється програмно шляхом зміненння імпульсних керуючих сигналів. ЛЧ АЦКП має наступні додаткові функціональні можливості:

1)а-ц-перетворення в любий вид коду по будь-якій функціональній залежності; 2)порогова обробка з керованим порогом; 3)багатоінтервальна перенастроювана дискримінація по рівню; 4)обчисленя будь-якої з 2^{2^n} бульових функцій від n бінарних картин.

Функція перетворення блока 1 оптичних потужностей у часові інтервали може бути будь-якою монотонною функцією.

Були запропоновані способи "доповнення" та "симетрування" і модернізовано спосіб "вичерпування" для АЦКП порозрядного кодування. Алгоритм роботи способа "вичерпування" (структурна схема на рис.2а) полягає в запам'ятовуванні вхідного зображення в пристрої для аналогового запам'ятовування та віднімання зображення (ПАЗВЗ), а потім у кожному i-тому циклі здійснюється:

1) порогова обробка зображення $A(t_{i-1})$ з виходу ПАЗВЗ на оптичному пороговому пристрої з керованим порогом (ОПП з КП) по порогу $S_B(i)=w_i \cdot \Delta\sigma$, де w_i - вага i-го розряду використовуємого коду, $\Delta\sigma$ - крок квантування оптичної потужності. В результаті цього на виході ОПП з КП формується i-тий розрядний зріз $B(t_i)$:

$$B(t_i)=U(A(t_{i-1})-S_B(i)\cdot E), \qquad (1)$$

де E - матриця розміром $M\times N$, всі елементи якої дорівнюють одиниці, $U(X)$ - порогова поелементна функція від матриці $X=(x_{mn})_{M\times N}$ така, що для будь-якого (x_{mn}):

$$U((x_{mn}))=\begin{cases} 1, & \text{якщо } (x_{mn})\geq 0, \\ 0, & \text{якщо } (x_{mn})<0; \end{cases}$$

2)корекція запам'ятованого в ПАЗВЗ зображення $A(t_{i-1})$ шляхом віднімання від інтенсивності його відліків, які перевищили поріг,

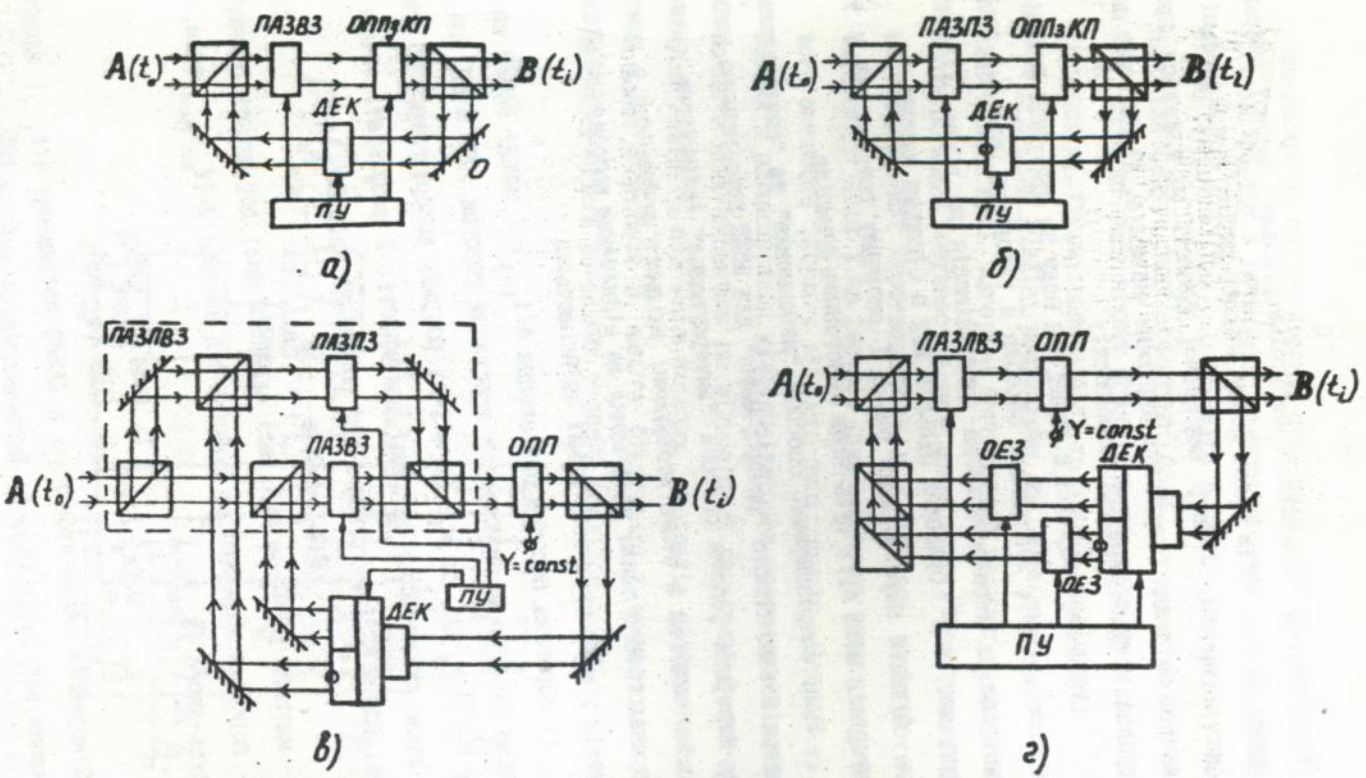

Рис.2. Структурні схеми АЦКП "вичерпування" (а), "доповнення" (б) та "симетрування" (в,г).

корегуючої величини $C_B(i)=w_i\cdot\Delta\alpha$:

$$A(t_i)=A(t_{i-1})-C_B(i)\cdot B(t_i). \qquad (2)$$

Далі цикл повторюється. Від'ємне бінарне зображення $C_B(i)\cdot B(t_i)$ із (2) з інтенсивностями одиничних відліків $C_B(i)$ формується джерелом еталонних картин- ДЕК (рис.2а).

Були також розроблені алгоритми роботи, структурні схеми та математичні моделі способів "доповнення" та "симетрування". В основі способу "доповнення" (структурна схема на рис.2б) лежить операція аналогового підсумовування зображень, яка виконується на пристрої для аналогового запам'ятовування та підсумовування зображень (ПАЗПЗ). Спосіб "доповнення" описується математичною моделлю:

$$B(t_i)=U(A(t_{i-1})-S_D(i)\cdot E) \qquad (3)$$

$$A(t_i)=A(t_{i-1})+C_D(i)\cdot\overline{B(t_i)} \qquad (4)$$

де $S_D(i)=\sum_{k=1}^{i} w_k\cdot\Delta\alpha$; $C_D(i)=w_i\cdot\Delta\alpha$. В основі способу "симетрування" (структурні схеми на рис.2в,г) лежать операції аналогового підсумовування та віднімання зображень (виконуються на пристрої для аналогового запам'ятовування та підсумовування/віднімання зображень- ПАЗПВЗ). Спосіб "симетрування" описується математичною моделлю:

$$B(t_i)=U(A(t_{i-1})-S_C\cdot E) \qquad (5)$$

$$A(t_i)=A(t_{i-1})+C_C(i)\cdot(\overline{B(t_i)}-B(t_i)) \qquad (6)$$

де $S_C=w_i\cdot\Delta\alpha=\text{const}$, $C_C(i)=w_{i+1}\cdot\Delta\alpha$ (причому $w_{n+1}=0{,}5\cdot\Delta\alpha$).

Способи "вичерпування", "доповнення" та "симетрування" можуть виконувати а-ц-перетворення в будь-який вид позиційного двоїчного коду, є контролездатними та відрізняються конструктивною простотою. Контролездатність полягає в тому, що по діапазону інтенсивностей відліків зображення, яке залишилось у вхідному аналоговому блоку після перетворення, можна зробити висновок про відповідність порогових значень та еталонних оптичних рівнів, які формувались в процесі перетворення, вимагаємим значенням.

Велика кількість структур АЦКП та можливість їх реалізації на різних видах елементної бази ставить проблему порівняння ефективності АЦКП. Оскільки АЦКП являються частиною системи (ІВСОЗ) та можуть виконувати кілька функцій обробки зображень, то, очевидно, що необхідно оцінювати їх системну ефективність. Але на практиці дуже важко визначити ймовірності появи різних операцій, які використовуються в критерії системної ефективності і вони будуть залежати від класа вирішуємих задач. Тому в роботі для порівняння ефективності різних АЦКП застосовується критерій ефективності, який використовує інформаційну продуктивність АЦКП при виконанні а-ц-перетворення, віднесену до витрат обладнання на АЦКП:

$$Q = \frac{M \cdot N \cdot \left(\log_2 L - \log_2 K_t \sqrt{\sum_{v=1}^{k} \sigma_v^2} \right)}{T \cdot C_{ПИ}} . \qquad (7)$$

де M·N- кількість просторових відліків у вхідному зображенні, L- кількість достовірних рівней квантування, K_t- ентропійний коефіцієнт композиції розподілу складових похибки АЦКП, σ_v- середньоквадратичні значення (СКЗ) складових похибки АЦКП.

Для розрахунку критерію (7), а також із необхідності проектування АЦКП із заданою точністю, випливає задача дослідження похибок АЦКП. Визначення таких методичних складових, як похибки часової дискретизації, просторової дискретизації та шум квантування, а також динамічної похибки не викликає труднощів, оскільки детально досліджено у відомих роботах. Тому головна увага в дисертації приділялась дослідженню інструментальної складової похибки АЦКП. Її основним джерелом є неоднорідність по апертурі передаточних характеристик двомірних елементів, використовуємих в АЦКП: різних порогових пристроїв, джерел еталонних картин, пристроїв для аналогового запам'ятовування, віднімання та підсумовування зображень та ін.. Ці неоднорідності ще називають геометричним шумом.

Зокрема, в ЛЧ АЦКП основним джерелом інструментальної похибки є блок 1 (рис.1) перетворення оптичних потужностей у часові інтервали. Абсолютні та середньоквадратичні значення інструментальної похибки ЛЧ АЦКП були досліджені аналітично для чотирьох законів перетворення блоку 1: 1)гіперболічний спадний(ГС), 2)гіперболічний зростаючий(ГЗ); 3)лінійний зростаючий(ЛЗ); 4)лінійний спадний(ЛС).

Так, ГС закон має загальний вигляд $\tau=A/(p+B)$, де τ– тривалість часового інтервалу, p– вхідна оптична потужність, A і B– параметри закону (рис.3). Припускалось, що сукупність передаточних характкристик блоку 1 (рис.1) для різних точок зображення лежить в діапазоні, обмеженому кривими $\tau_B=A(1+\alpha)/(p+B(1-\beta))$ і $\tau_H=A(1-\alpha)/(p+B(1+\beta))$, де α і β характеризують величину розкиду параметрів A і B. Були виведені вирази для абсолютної інструментальної похибки в залежності від вхідної оптичної потужності P_x:

$$\Delta_{ux}=\alpha\cdot P_x+B\cdot(\alpha+\beta) \qquad (8)$$

і для СКЗ інструментальної похибки при умові нормального закону розподілення інструментальної похибки при конкретному значенні P_x (рис.3):

$$\overline{\sigma}_u=\frac{\alpha\cdot(P_{max}+P_{min})+2\cdot B\cdot(\alpha+\beta)}{6}. \qquad (9)$$

Для інших законів перетворення блоку 1(рис.1)абсолютні та середньоквадратичні значення інструментальної похибки мають вигляд:

– ГЗ закон: $$\Delta_{ux}=B\cdot(\alpha+\beta)-\alpha\cdot P_x, \qquad (10)$$

$$\overline{\sigma}_u=\frac{2\cdot B\cdot(\alpha+\beta)-\alpha\cdot(P_{max}+P_{min})}{6}, \qquad (11)$$

– ЛЗ закон: $$\Delta_{ux}=\alpha\cdot P_x+B\cdot\beta/A, \qquad (12)$$

$$\overline{\sigma}_u=\frac{\alpha\cdot(P_{max}+P_{min})+2\cdot B\cdot\beta/A}{6}, \qquad (13)$$

– ЛС закон: $$\Delta_{ux}=\alpha\cdot P_x+B\cdot\beta/A, \qquad (14)$$

$$\overline{\sigma_U} = \frac{\alpha \cdot (P_{max} + P_{min}) + 2 \cdot B \cdot \beta / A}{6}, \qquad (15)$$

Вигляд залежностей Δ_{UK} та $\overline{\sigma_U}$ для ЛЗ і ЛС-законів однаковий, але $B_{ЛЗ} \ll B_{ЛС}$, а значить ЛЗ закон є більш точним. Із виразів (8) і (10) видно, що ГС закон точніший за ГЗ по критерію відносної похибки. Таким чином, найбільш перспективними є ГС і ЛЗ закони перетворення, які між собою треба порівнювати при конкретних значеннях параметрів A, B, α і β.

Для дослідження інструментальної похибки АЦКП "вичерпування", "доповнення" та "симетрування" було обгрунтовано необхідність моделювання на ЕОМ.

<u>В третьому розділі</u> були досліджені варіанти технічної реалізації запропонованих АЦКП. Універсальним по реалізації є ЛЧ АЦКП. Його можна виготовити на всіх відомих видах елементної бази:

1) на ПНОЕС (простіші порогові бінарні оптично керовані транспаранти, оптоелектронні затвори (ОЕЗ), модулятори світла та ін.).

2) на ПДОЕС у вигляді матриць чарунок на основі:

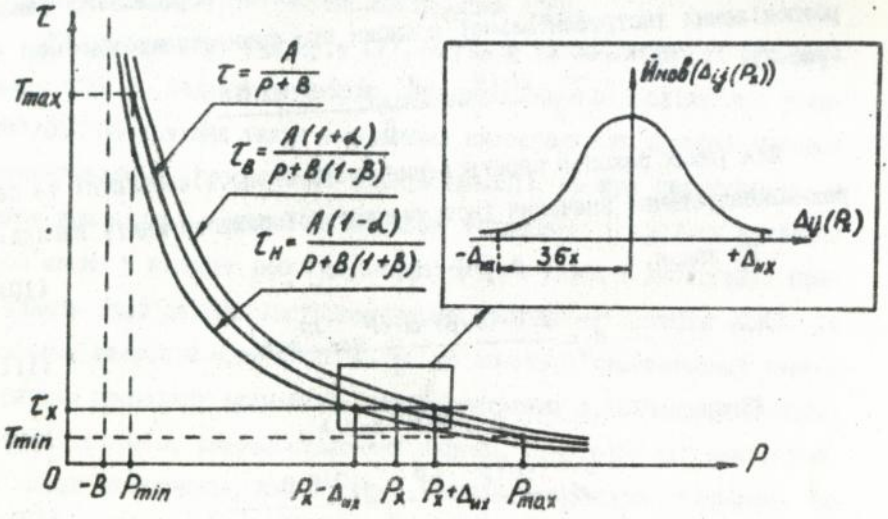

Рис.3. Зона розкиду гіперболічного спадного закону перетворення.

- ФІМ оптичних сигналів та тригерів із статичним керуванням;
- ШІМ оптичних сигналів та тригерів з динамічним керуванням;

3) на оптичних бістабільних елементах (ОБЕ).

При реалізації на ПНОЕС стробовані D-тригери зручніше виконувати у вигляді ОЕЗ та оптично керованих транспарантів (ОКТ) з пам'яттю, а при реалізації на ОБЕ- на одному оптичному пороговому бістабільному елементі, організувавши його стробування по рівню: інформаційний і стробуючий оптичні сигнали повинні в сумі перевищувати поріг, а кожний окремо - бути менше порогу.

При реалізації ЛЧ АШКП на таких ПНОЕС як рідиннокристалічні (РК) ОКТ, можна досягти наступних параметрів: MxN~1000x1000, $T_п=2^n \cdot \tau$, де $\tau \sim 10^{-3}-10^{-4}$ с, n~3-4 (n мале через великі значення геометричного шуму), що дозволить досягти інформаційної продуктивності 10^8-10^9 біт/с і $T_п$ - кілька мс, що трохи нижче пред'явлених вимог. У перспективі швидкодію РК ОКТ можна підвищити до одиниць мкс, в наслідок чого буде досягнуто продуктивність $10^{10}-10^{11}$ біт/с і $T_п$ - десятки-сотні мкс. Для збільшення достовірних двоїчних розрядів ЛЧ АШКП треба зменшувати геометричний шум ОКТ за допомогою більш точних технологій.

При реалізації ЛЧ АШКП на ПДОЕС можна досягти таких параметрів: $T_п$~10 мкс (показано в розділі 4), n~6, кількість точок зображення ~ 40x40 (при використанні технології гібридних мікросхем) чи ~ 500x500 (при технології багатошарових ІС на прозорій підкладці) та мати продуктивність 10^9-10^{11} біт/с.

При реалізації ЛЧ АШКП на найбільш перспективних у нин час ОБЕ типу SEED можна досягти: MxN=32x64, $T_п=2^n \cdot \tau$, де τ~2 нс, n~4, що дозволить мати продуктивність ~$4 \cdot 10^{11}$ біт/с і $T_п$ - десятки нс. Це цілком задовільняє вимогам до АШКП.

Для реалізації АШКП "вичерпування", "доповнення" та "симетрування" необхідні функціональні вузли, які виконують аналогові опе-

рації підсумовування, віднімання та мають пам'ять. Тому ці АЦКП поки що можна реалізувати тільки на ПНОЕС. У дисертації наведені варіанти функціональних схем та виведені вирази для часу перетворення кожного з указаних способів АЦКП. При середніх на сьогодні значеннях характеристик ОКТ для АЦКП з аналоговими операціями можна досягти таких параметрів: M_kN~1000x1000, n~3, $T_п$~5 мс і мати продуктивність $6 \cdot 10^8$ біт/с, що трохи менше сформульованих у розділі 1 вимог. Для задовільнення цим вимогам, необхідно вдосконалювати елементну базу ПНОЕС, а саме: зменшити геометричний шум і підвищити швидкодію.

У зв'язку з розробкою останнім часом компараторів зображень на ОКТ і на ПЗОЕС, було запропоновано АЦКП на основі компаратору зображень та варіанти побудови компараторів оптичних сигналів на ПЗОЕС з використанням фоточутливих біспін-приладів. Ці компаратори мають частотні та потенційні виходи та характеризуються зоною нечутливості десятки-сотні нановатт.

Із застосуванням розглянутого в розділі 2 критерію ефективності було проведено порівняння запропонованих ЛЧ АЦКП та трьох АЦКП з аналоговими операціями при їх реалізації на елементній базі ПНОЕС при однакових значеннях геометричного шуму функціональних вузлів (табл.1). За одиницю апаратурних витрат умовно було прийнято один ОКТ. Із табл.1 видно, що найбільш ефективним є ЛЧ АЦКП, який, до того, ще й має ширші функціональні можливості.

У четвертому розділі наведені результати експериментальних досліджень схем ШІМ і ФІМ для чарунок ЛЧ АЦКП з різними законами перетворення оптичної потужності у часовий інтервал. Було показано, що за теперішнього часу можна виготовити чарунки для ЛЧ АЦКП з $T_п$~10 мкс, потужністю споживання 3÷10 мВт/чарунку та виявляючою здатністю 1÷10 мкВт/чарунку. Було показано, як на основі математичної моделі конкретної схеми ШІМ (ФІМ) і виразів для інструмен-

Таблиця 1

Тип АЦКП	Розрядність, n	Абс. сумарна статична похибка-СКЗ σ_Σ, ОМР	Час перетворення $T_П$, мс	Апаратурна складність $C_{ПИ}$, умов.вузл.	Значення критер. ефект. Q $\frac{\text{біт/с}}{\text{умов.вузол}}$
Логіко-часовий	4	0,0220	3,2	10,5	$2,241 \cdot 10^8$
Вичерпування	3	0,3834	4,7	4,5	$1,106 \cdot 10^8$
Доповнення	3	0,5215	4,7	4,5	$0,894 \cdot 10^8$
Симетрування	3	0,3440	5,0	4,5	$1,111 \cdot 10^8$

тальної похибки, отриманих у розділі 2, оцінити кількість достовірних рівней квантування ЛЧ АЦКП.

Були досліджені перетворювачі світло-частота на кремнієвих біспін-структурах, показано перспективність застосування швидкодіючих біспін- приладів на GaAs та InSb.

Серед розглянутих шляхів конструктивно-технологічної реалізації АЦКП на ПДОЕС найбільш перспективним є використання технології багатошарових ІС на прозорій підкладці.

Для перевірки теоретичних положень і висновків було виготовлено та експериментально досліджено макет ЛЧ АЦКП.

При машинному моделюванні трьох способів АЦКП з аналоговими операціями метою було визначення зони статичної сумарної (інструментальна плюс шум квантування) похибки в залежності від входного сигналу при заданих значеннях геометричного шуму функціональних вузлів. Неідеальність передаточних характеристик вхідного аналогового блоку, порогового блоку та ДЕК (рис.2) представлялась у вигляді мультиплікативної та адитивної складових. Порівняльний аналіз точностних властивостей способів АЦКП на підставі отриманих графіків показав, що АЦКП "вичерпування" є кращим по критерію відносної похибки, а АЦКП "симетрування"- по критерію абсолютної похибки. Були досліджені також коефіцієнти впливу параметрів геомет-

ДНБ ім. В.Г.Фесенка
АН України

ричного шуму функціональних вузлів на загальну похибку, що дозволило визначити які параметри яких блоків необхідно покращувати в першу чергу.

Додатки містять фотографії макетів, тексти програм та результати моделювання на ЕОМ, акт впровадження результатів дисертації.

ОСНОВНІ РЕЗУЛЬТАТИ РОБОТИ ТА ВИСНОВКИ

1. Показано актуальність розробки та дослідження АЦКП для паралельних ІВСОЗ на основі ЦОЕП, які є багатофункціональними вузлами ІВСОЗ. Зроблено класифікацію АЦКП, проаналізовано відомі види елементної бази для них. На основі аналітичного огляду виявлено необхідність розробки високопродуктивних АЦКП, дослідження їх точності, варіантів технічної реалізації та порівняння ефективності.

2. Розроблено та досліджено ЛЧ спосіб АЦКП, який має широкі функціональні можливості (обчислення повного набору логічних функцій, порогова обробка, дискримінація по рівню та ін.). Зміна функції перетворення здійснюється шляхом подачі відповідних імпульсних керуючих сигналів.

3. Розроблені та досліджені три способи АЦКП порозрядного кодування: "вичерпування", "доповнення" та "симетрування", перевагами яких є контролездібність та конструктивна простота.

4. Виведені аналітичні вирази для оцінки інструментальної похибки ЛЧ АЦКП з різними законами перетворення оптичної потужності в часові інтервали, серед яких найбільш точними виявилися гіперболічний спадний та лінійний зростаючий закони.

5. Розроблені та досліджені варіанти технічної реалізації запропонованих АЦКП, в результаті чого було показано реальну можливість створення за теперішнього часу ЛЧ АЦКП з продуктивністю 10^9–10^{10} біт/с та часом перетворення ~10 мкс на основі просторово-дискретних оптоелектронних структур по технології гібридних ІС та по технології багатошарових ІС на прозорій підкладці. Реалізація

ЛЧ АЦКП на оптичних бістабільних елементах типу SEED дозволяє створити АЦКП з продуктивністю ~$4 \cdot 10^{11}$ біт/с та часом перетворення десятки нс. Реалізація ЛЧ АЦКП та АЦКП "вичерпування", "доповнення" та "симетрування" на просторово-неперервних оптоелектронних структурах поки не дозволяє досягти необхідних параметрів (продуктивність <10^9 біт/с, час перетворення кілька мс). Тому треба вдосконалювати елементну базу ПНОЕС в напрямку підвищення швидкодії та зменшення геометричного шуму.

6. Порівняння ефективності запропонованих ЛЧ АЦКП та АЦКП "вичерпування", "доповнення" та "симетрування" на основі розробленого критерію ефективності показало, що найбільш ефективним є ЛЧ АЦКП, який крім того, має ширші за всіх функціональні можливості.

7. Були проведені експериментальні дослідження ШІМ та ФІМ оптичних сигналів з різними законами перетворення оптичної потужності в часовий інтервал, які показали можливість створення ЛЧ АЦКП з часом перетворення ~10 мкс, споживчою потужністю 3÷10 мВт/чарунку та виявлячою здатністю 1÷10 мкВт/чарунку. Були експериментально досліджені перетворювачі світло-частота та компаратори оптичних сигналів на біспін-приладах.

8. Було розглянуто конструктивно- технологічні аспекти реалізації АЦКП, виготовлено та експериментально досліджено макет ЛЧ АЦКП, що дозволило перевірити теоретичні положення.

9. Машинне моделювання АЦКП "вичерпування", "доповнення" та "симетрування" дозволило дослідити їх інструментальні похибки в залежності від геометричного шуму функціональних вузлів та порівняти їх по точності. По критерію відносної похибки точнішим виявився АЦКП "вичерпування", а по критерію абсолютної похибки - АЦКП "симетрування". Були визначені величини внесків параметрів геометричного шуму різних функціональних вузлів у загальну похибку.

Основні результати досліджень по темі дисертації наведені в таких роботах:

1)А.с. №1661586 (СССР). Фотометр/Б.Н.Богданов, О.Д.Кнаб, В.Г.Красиленко, О.К.Колесницкий.- Опубл. в БИ №25, 1991.

2)А.с. №1674051 (СССР). Аналого-цифровой преобразователь изображения/ Н.Ф.Ковтоник, В.Г.Красиленко, О.К.Колесницкий, Н.И.Заболотная.- Опубл. в БИ №32, 1991.

3)А.с. №1702429 (СССР). Способ записи и хранения изображений и устройство для его осуществления/ В.Г.Красиленко, Н.И.Заболотная, О.К.Колесницкий, С.Б.Одиноков.- Опубл. в БИ №48, 1991.

4)А.с. №1746389 (СССР). Оптоэлектронный узел матрицы для сравнения изображений/ В.П.Кожемяко, В.Г.Красиленко, Н.Н.Михальниченко, С.И.Белан, О.К.Колесницкий.- Опубл. в БИ №25, 1992.

5)А.с. №1753447 (СССР). Аналого-цифровой преобразователь изображений/ В.П.Кожемяко, В.Г.Красиленко, О.К.Колесницкий, Н.И.Заболотная.- Опубл. в БИ №29, 1992.

6)А.с. №1757125 (СССР). Фотоприемное устройство/ О.Д.Кнаб, О.К.Колесницкий, В.Г.Красиленко и др..- Опубл. в БИ №31, 1992.

7)Исследование принципов построения и разработка оптоэлектронного векторно-матричного перемножителя оптического цифрового процессора обработки радиосигналов.- Промежут. отчет о НИР, гос. рег. №01900065692, инв. №02910035215, Винница, 1991.

8)Кожемяко В.П., Колесницкий О.К., Красиленко В.Г., Кнаб О.Д. Многоэлементные линейки ЛБФ-32/07 и ЛБФ-24/08 кремниевых биспин-фотоприемников// ПиТЭ,№3,1992,с.234-235.

9)Кожемяко В.П., Колесницкий О.К., Красиленко В.Г., Кнаб О.Д. Оптоэлектронный узел матрицы для сравнения изображений/ Пол. реш. по заявке №4942692/24 от 21.07.92.

10)Кожемяко В.П., Красиленко В.Г.,Колесницкий О.К., Рева А.Ф. Аналого-цифровой преобразователь изображений/ Пол. реш. по заявке

N4755960/25 от 28.01.91.

11)Кожемяко В.П., Красиленко В.Г.,Колесницкий О.К., Савицкий А.В. Аналого-цифровой преобразователь изображений/ Пол. реш. по заявке N4782697/25 от 23.10.91.

12)Кожемяко В.П., Олексенко П.Ф., Красиленко В.Г., Дубчак В.Н., Колесницкий О.К. Сумматор оптических сигналов/ Пол. реш. по заявке N4945689/24 от 15.01.92.

13)Колесницкий О.К., Красиленко В.Г. Аналого-цифровые преобразователи изображений картинного типа для цифровых оптоэлектронных процессоров(Обзор)// Автометрия N2,1992,с.16-29.

14)Красиленко В.Г., Коломиец Д.А., Богухвальский А.К., Колесницкий О.К. Аналого-цифровой преобразователь изображений/ Пол. реш. по заявке N4878042/25 от 11.10.91.

15)Многофункциональный преобразователь изображений картинного типа "ПИКАРТ-8х8/100/4"/ В.П.Кожемяко, В.Г.Красиленко, О.К.Колесницкий, В.Н.Дубчак (Информационный листок N45-91).- Винница: МТЦНТИ, 1991.

16)Разработка теории и принципов построения универсальных устройств логической обработки изображений.- Заключит. отчет о НИР, гос. рег. N01890081153, инв. N02900006127, Винница, 1989.

17)Разработка теории и принципов построения универсальных устройств логической обработки изображений.- Промежут. отчет о НИР, гос. рег. N01900020099, инв. N02900045611, Винница, 1990.

18)Разработка теории и принципов построения универсальных устройств логической обработки изображений.- Заключит. отчет о НИР, гос. рег. N01900020099, инв. N02910006360, Винница, 1990.

19)Kolesnitsky O.K., Krasilenko V.G. AD Image Converters for Rarallel Digital Optoelectronic Processors// Pattern Recognition and Image Analysis, vol.2, No 2, 1992, pp.227-233.

20)Kozshemjako V.P., Krasilenko V.G., Kolesnitsky O.K.

Converters of halftone image in number of binary slices for the digital optoelectronic processors.- ICO International Topical Meeting on Optical Computing (Technical digest), June 29-July 1, 1992, Minsk, Republic of Belarus, P2.

21)Krasilenko V.G., Kolesnitsky O.K., Savitsky A.V. Comparator of optical pictures as the element of optoelectronic processors/ Proceedings of Soviet-Chinese Joint Seminar "Holography and Optical Information Processing".- Bishkek, September 21-26, 1991, pp.126-128.

Автор вважає своїм обов'язком висловити подяку к.т.н. Красиленко В.Г., який разом з науковим керівником надавав допомогу у вирішенні задач проведених досліджень.

Зак. № 32. Тир. 100 экз.
Подписано в печать 22.II.93 г.
Бумага офсетная. Печать офсетная.
Хмельницкое шоссе, 97
СКТБ "Модуль" ВПИ

AB 28856
AB 28.856