

Міністерство освіти і науки України  
Вінницький національний технічний університет

**КИРИЧЕНКО ОЛЕКСАНДР ВІКТОРОВИЧ**

УДК 004.2:004.93:654.915:681.3

**МЕТОДИ ТА ПРОГРАМНО-АПАРАТНІ ЗАСОБИ КВАНТРОННОГО  
ОБРОБЛЕННЯ ЗОБРАЖЕНЬ**

Спеціальність 05.13.05 – комп'ютерні системи та компоненти

Автореферат  
дисертації на здобуття наукового ступеня  
кандидата технічних наук

Вінниця – 2013

Дисертацією є рукопис.

Робота виконана у Вінницькому національному технічному університеті, Міністерство освіти і науки України.

Науковий керівник: доктор технічних наук, професор  
**Кожем'яко Володимир Прокопович**,  
Вінницький національний технічний університет,  
завідувач кафедри лазерної та оптоелектронної техніки.

Офіційні опоненти: доктор технічних наук, професор  
**Николайчук Ярослав Миколайович**,  
Тернопільський національний економічний університет,  
професор кафедри спеціалізованих комп'ютерних систем;

доктор технічних наук, професор  
**Осінський Володимир Іванович**,  
"Науково-дослідний інститут мікроприладів" науково-технологічного  
комплексу "Інститут монокристалів"  
НАН України, м. Київ.

Захист відбудеться «05» листопада 2013 р. о 14<sup>00</sup> годині на засіданні спеціалізованої вченої ради Д 05.052.01 у Вінницькому національному технічному університеті за адресою: 21021, м. Вінниця, Хмельницьке шосе, 95, ГНК, ауд. 210.

З дисертацією можна ознайомитися у бібліотеці Вінницького національного технічного університету за адресою: 21021, м. Вінниця, Хмельницьке шосе, 95.

Автореферат розісланий «04» жовтня 2013 р.

Учений секретар  
спеціалізованої вченої ради

С.М. Захарченко

## ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

**Актуальність теми.** Інтенсивний розвиток технологій та вдосконалення комп'ютерної техніки привели до появи принципово нових методів дослідження зображень. Такі методи, як контроль якості промислових виробів, медична діагностика, моніторинг космічних об'єктів, широко застосовуються й обумовлюють високі вимоги до надійності, точності та достовірності результатів досліджень. Незважаючи на величезну різноманітність зображень, базовим завданням інтелектуальних комп'ютеризованих систем обробки та класифікації зображень є контурна сегментація, на якій базується подальша ідентифікація об'єктів. Головною метою контурної сегментації є виділення областей зображень, які потребують дослідження та зменшення надлишковості інформації. Для ряду навігаційних і робототехнічних систем є актуальною проблема створення швидкодійних цифрових пристроїв, у тому числі на оптоелектронній елементній базі для розпізнавання образів, тобто задача виявлення контурів зображень в умовах непевності заводосигнальної обстановки.

Аналіз характеристик існуючих цифрових пристроїв виявлення об'єктів показує, що вони не задовольняють в повному об'ємі вимогам, які висувають до таких систем. Ці вимоги містять у собі забезпечення максимальної простоти для досягнення максимальної швидкодії зі зберіганням високої точності обчислень та функціональних можливостей пристроїв, високої заводостійкості алгоритмічних способів, стійкості до зміни відносних характеристик об'єкта спостереження і адаптації до апріорно невідомого фону.

Одним із перспективних засобів для оброблення зображень є квантрони, які дозволяють безпосередньо дискретизувати вхідні зображення з функціями візуалізації, пам'яті, генерації та порогової обробки. На жаль, питання використання квантронів для оброблення зображень не досліджувалося, не дивлячись на можливість їх функціонального використання. Аналіз показав їх високу ефективність для реалізації процедур зсуву та порівняння, які широко використовуються для оброблення зображень.

У зв'язку з тим, що зображення стають масовою продукцією в промисловості і науці, а їх розпізнавання й аналіз – масовим потоковим виробництвом, – квантронне оброблення зображень стає економічно вигідним і доцільним скрізь, де воно технічно можливе. Використання методів та засобів оптоелектронного (квантронного) оброблення інформації дозволяє визначити нові шляхи створення високопродуктивних оптико-електронних обчислювальних пристроїв, систем виявлення сигналів і зображень з шумами, а також розпізнавальних систем.

**Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами.** Дослідження виконувалася на кафедрі лазерної й оптоелектронної техніки ВНТУ відповідно до державної науково-технічної програми «Образний комп'ютер» (Постанова Кабінету Міністрів України № 1652 08.11.2000 р.). Здобувач був виконавцем НДР ВНТУ «Оптико-електронні паралельні логіко-часові інформаційно-енергетичні системи для око-процесорних комп'ютерів (№ державної реєстрації: 0111U002261) та «Розподілені ієрархічні оптико-електронні паралельні логіко-часові інформаційно-енергетичні середовища» (№ державної реєстрації: 0111U001104).

**Мета і задачі дослідження.** Мета роботи полягає у підвищенні ефективності квантронного оброблення зображень за рахунок використання оптоелектронних багатофункціональних елементів.

Для досягнення поставленої мети необхідно розв'язати такі задачі:

1. Провести аналіз відомих методів та програмно-апаратних засобів оброблення інформації.
2. Розглянути можливість застосування нових прийомів удосконалення елементної бази для квантронних систем оброблення зображень.
3. Розробити методи квантронного оброблення, таких як узагальнено-контурне препарування, сегментація на основі аналізу зв'язності та виділення контурів напівтонових зображень.

4. Розробити метод подання й порівняння багатоградаційних зображень на основі узагальненого  $W$ -спектра зв'язності.

5. Розробити програмно-апаратні засоби для реалізації методів квантронного оброблення зображень.

6. Провести дослідження властивості динамічної багатофункціональності квантронних елементів як теоретичного підґрунтя для створення ефективних оптоелектронних засобів.

7. Оцінити ефективність порівняння результатів ручного та автоматичних методів сегментації і ступень збігу їх результатів.

8. Провести дослідження квантронів та багатофункціональних оптоелектронних модулів для швидкого оброблення зображень.

*Об'єктом дослідження* є процес квантронного оброблення зображень оптоелектронними засобами.

*Предмет дослідження* – методи та програмно-апаратні засоби квантронного оброблення зображень.

**Методи дослідження** містять: методи математичного аналізу при дослідженні критеріальної системи для пірамідального узагальнено-контурного препарування; методи теорії алгоритмів при розробці схеми операційної частини квантронного пристрою для оброблення зображень; прикладної теорії інформації при аналізі вихідних теоретичних положень квантронних алгоритмічних і апаратних засобів; теорії оптоелектронних елементів та приладів при дослідженні квантронів та квантронних пристроїв; теорії цифрової обробки сигналів і зображень при розробці методу узагальнено-контурного препарування та автоматичних методів сегментації зображень. При розробці програм для перевірки основних теоретичних викладень використовувались, також, методи прикладної теорії інформації й теорії алгоритмів.

**Наукова новизна одержаних результатів** полягає у тому, що:

1. *Вперше виявлена* властивість динамічної багатофункціональності для квантронної схемотехніки, яка на відміну від традиційного підходу розглядає багатофункціональність з точки зору того, як елемент чи прилад виконує свої функції у часі, що дозволяє підвищити ефективність її використання в оптоелектронних засобах оброблення зображень.

2. *Модифіковано* метод пірамідального узагальнено-контурного препарування із застосуванням критеріальної системи для обчислення порогу, який на відміну від існуючого методу адаптований до конкретного зображення, що дозволяє здійснити завадостійкий процес автоматичного переопису багатоградаційного зображення в тернарне.

3. *Знайшов подальший розвиток* метод багаторівневої сегментації на основі пірамідального узагальнено-контурного препарування та узагальненого  $W$ -спектра зв'язності для виділення однорідних областей зображень, який на відміну від існуючого методу використовує критеріальну систему максимальних значень добутків кількості позитивних, нульових та від'ємних контурних препаратів для кожного рівня сегментації, що дозволяє більш ефективно реалізувати багаторівневий процес розподілу зображення на окремі його сегменти.

4. *Знайшов подальший розвиток* метод просторово-зв'язаної сегментації багатоградаційних зображень, який на відміну від існуючого методу використовує міжзрізну та внутрішньозрізну зв'язності пікселів зображень, що дозволяє використовувати його як простий засіб поділу зображення на множину однорідних областей та в якості простого засобу кластеризації, сформовані ознаки якого, такі як внутрішньозрізна і міжзрізна зв'язності, можуть бути формалізовані для оцінювання міри подібності і відмінності порівнювальних зображень.

5. *Вперше запропонований* метод виділення контуру зображення для реалізації квантронного оброблення зображень, який на відміну від існуючого методу спрощує операції виділення горизонтальних, вертикальних та похилих складових контурів зображень, що дозволяє спростити його апаратну реалізацію.

**Практичне значення одержаних результатів** полягає в тому, що використання запропонованих методів і конкретних рішень дозволяє отримувати більш досконалі, порівняно з відомими, програмні та апаратні засоби, які використовуються для оброблення зображень в комп'ютерних системах.

Отримані теоретичні положення дозволили:

- розробити та експериментально дослідити квантронні елементи із динамічною багатофункціональністю для побудови програмно-апаратних засобів, що дозволяє проводити оброблення зображень у реальному часі;
- розробити процедуру визначення площі зони інтересу зображення на прикладі термозображення, які дозволяють в середньому на 15-20% знизити похибку визначення площі;
- розробити програмне забезпечення для аналізу термозображень, що дозволяє в автоматичному режимі моделювати процеси розподілу однорідних областей.

Результати досліджень впроваджено у товаристві з обмеженою відповідальністю «Планета-М» (м. Вінниця, акт від 15.02.12), у ТОВ «Центр медичної реабілітації та спортивної медицини» (м. Вінниця, акт від 16.07.2012), а також у навчальному процесі на кафедрі лазерної та оптоелектронної техніки Вінницького національного технічного університету (акт від 23.04.2013), що підтверджується відповідними актами.

#### **Особистий внесок здобувача**

Особистий внесок автора в отриманих наукових результатах полягає в тому, що всі положення, які становлять суть дисертації, були сформульовані та доведені здобувачем самостійно. Самостійно здійснено аналіз методів та програмно-апаратних засобів оброблення зображень [1, 2], здійснено постановку задачі, використано модель абстрактного КВ-автомата як функціонально повного операційного автомата в логіко-часовому середовищі, що забезпечує комплексний підхід до проектування квантронних засобів оброблення зображень [8, 11], обґрунтоване граничне значення часу взаємодії в ланцюзі квантронів [3], проаналізовані методи ущільнення для квантронного оброблення зображень [4, 5, 9, 10].

Особистий внесок здобувача в роботах, опублікованих у співавторстві, наступний: розроблено оптоелектронний лічильний тригер [12], оптоелектронний лічильник імпульсів [13], цифровий вимірювач одиничних часових інтервалів [16], метод паралельного додавання тривалостей групи часо-імпульсних сигналів [7, 14], перетворювач світлової інтенсивності в часовий інтервал [6, 15], метод сегментації зображень на основі узагальнено-контурного препарування із застосуванням критеріальної системи для автоматичного визначення порогу та метод виділення контуру зображення для реалізації квантронного оброблення зображень [13], реалізація квантронного пристрою оброблення зображень [12].

#### **Апробація результатів дисертації**

Теоретичні та практичні результати роботи доповідались на 7 наукових конференціях: VIII Міжнародній науково-технічній конференції „Контроль та управління в складних системах” (Вінниця, Україна, 2005 р.); на двох щорічних науково-технічних конференціях професорсько-викладацького складу ВНТУ (2004, 2006 рр.); Міжнародній науково-практичній конференції ”АВТОМАТИКА – 2006” (Вінниця, Україна, 2006 р.); Міжнародній науково-практичній конференції «Системы и средства искусственного интеллекта». (Краснодарський край, пос. Дивноморське, Росія, 2009 р.); Міжнародній науково-практичній конференції з оптоелектронних інформаційних технологій “Фотоніка 2010” (Вінниця, Україна, 2010 р.); Міжнародній науково-практичній конференції “Інформаційні технології та комп'ютерна інженерія” (Вінниця, Україна, 2010 р.).

**Публікації.** Основні матеріали дисертації опубліковані у 19 друкованих працях, з яких: 8 статей, з них 5 в наукових фахових виданнях, 1 монографія, 5 патентів України на корисну модель, 5 тез доповідей міжнародних науково-технічних конференцій.

**Обсяг і структура дисертації.** Дисертаційна робота складається із вступу, чотирьох розділів, висновків, переліку використаних джерел і додатків. Загальний обсяг роботи

становить 159 сторінок, з них 138 основного тексту. Список використаних джерел включає 110 найменувань.

## ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

У вступі обґрунтовано актуальність обраної теми досліджень, встановлено мету й задачі дисертаційної роботи, визначено об'єкт, предмет і методи дослідження, сформульовано наукову новизну та практичну цінність результатів досліджень, подано інформацію про апробацію та впровадження результатів роботи.

У першому розділі проведено аналіз методів і засобів оброблення зображень для систем реального часу та визначено загальні характеристики задач розпізнавання образів і їхні типи. Окреслено загальну структуру систем розпізнавання, де вказано характерні риси задач розпізнавання, напрямки та перспективність розвитку даних систем. Проведено огляд класичних підходів до розпізнавання об'єктів зображень, завдяки якому окреслено основні ознаки, по яким класифікуються об'єкти. Визначено основні інформаційні процеси та основні інформаційні методи розпізнавання зображень. Показано, що до основних недоліків класичних комп'ютеризованих систем можна віднести низьку швидкодію послідовної обробки інформації та відносно невисоку точність отриманих результатів, які заважають повній автоматизації даних систем. Тому обробка образної інформації обумовлює використання систем оброблення зображень, які побудовані за принципами оптико-електронних технологій, що здатні імітувати функції зорової системи людини, на оптичному рівні самостійно сприймати, обробляти та аналізувати відеоінформацію в реальному часі, з можливістю самоналагодження на конкретні умови експлуатації та з оптимальною апаратно-програмною реалізацією.

На основі аналізу існуючих методів та засобів оброблення графічної інформації, їх переваг та недоліків, а також пріоритетних напрямків розвитку науки і техніки зроблено вибір напрямку та формулювання задач досліджень.

У другому розділі визначено та проаналізовано вихідні теоретичні положення розробки квантронних алгоритмічних та апаратних засобів, для яких вперше виявлена властивість динамічної багатофункціональності та умови досягнення максимальної швидкодії при мінімальній складності їх алгоритмічних і технічних засобів.

Введено функцію багатофункціональності  $M_{\text{фзб}}$ , що характеризує функціональність елементної бази.

$$M_{\text{фзб}} = M(x_1(t), x_2(t), x_3(t), \dots, x_k(t)),$$

де  $x_k(t)$  –  $k$ -та виконувана функція.

Багатофункціональність елементної бази у позначеннях відомого формального апарату логіко-часових функцій (ЛЧФ), що враховують часові параметри  $t_i$  і  $T_i$ , має вигляд:

$$M_{\text{фзб}} = M(f_1(t, t_1, T_1), f_2(t, t_2, T_2), f_3(t, t_3, T_3), \dots, f_i(t, t_i, T_i)),$$

де  $f_i(t, t_i, T_i)$  –  $i$ -та виконувана ЛЧФ з часом появи  $t_i$  і періодом існування  $T_i$ .

Параметри  $t_i$  і  $T_i$  однозначно можуть бути визначені в кожному конкретному випадку, залежно від елементної бази, що використовується. Причому, частина часових параметрів  $t_i$  і  $T_i$  визначається, виходячи з фізичних особливостей елементної бази, а частина – часовими параметрами керуючих сигналів. Останнє відноситься до елементної бази з можливостями керованої багатофункціональності.

Керованою багатофункціональністю володіє та елементна база, в якій є керованою функція організації внутрішніх зв'язків  $x_c(t)$ . Наявність цієї функції дозволяє впливати на внутрішню структуру елементарного блоку за допомогою керуючого сигналу, що дозволяє значно збільшити кількість функцій, які виконуються, з випереджаючими темпами

зростання складності апаратних засобів, що використовуються. До таких функцій відносяться функції, що є результатом організації або позитивного, або від'ємного зворотного зв'язку. Наприклад, функції пам'яті, генерації тощо. Крім того, наявність керованої функції дозволяє впливати на базові функції, обумовлені фізичною природою елементної бази. З'являється можливість змінювати час затримки вихідного сигналу, рівень порогу спрацьовування, функцію передачі вхідного сигналу. На рис. 1а та рис. 1б зображено схему багатофункціонального оптоелектронного елемента з діаграмою багатофункціональності.

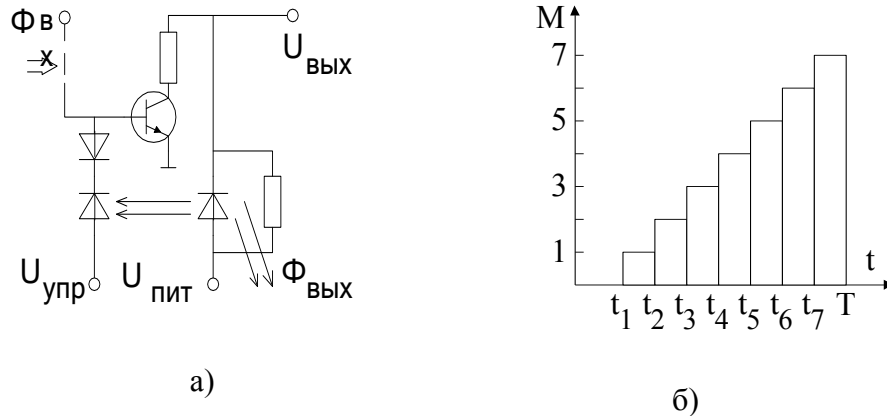


Рисунок 1 – Багатофункціональний оптоелектронний елемент: а) схема елемента; б) діаграма багатофункціональності оптоелектронного елемента:

М (1) – затримка, М (2) – перетворення вхідного сигналу, М (3) – поріг спрацьовування, М(4) – візуалізація, М (5) – стабілізація вихідного сигналу, М (6) – пам'ять, М (7) – генерування високої частоти, М (8) – генерування низької частоти.

Елементна база є багатофункціональною в тому випадку, якщо зростання її функціональних можливостей в часі випереджає зростання складності. Відповідно зростання функціональних можливостей алгоритмічних засобів у часі повинно випереджати зростання їх складності (трудомісткості). Отже, структура є багатофункціональною в тому випадку, якщо зростання функціональних можливостей алгоритмічних засобів у часі та їх складності, адекватне зростанню функціональних можливостей елементної бази та її складності.

Для визначення багатофункціональності квантронних (апаратних) засобів необхідно ввести наведену ЛЧФ багатофункціональності, віднесену до ЛЧФ складності:

$$\Phi_n(t) = \frac{M_{fa}(x_1(t), x_2(t), \dots, x_l(t))}{C_a(y_1(t), y_2(t), \dots, y_l(t))}, \quad (1)$$

де  $M_{fa}(x_1(t), x_2(t), \dots, x_l(t))$  – функція багатофункціональності алгоритмічних засобів,  $x_l(t)$  –  $l$ -та алгоритмічна функція

Проведено аналіз розробленої оптоелектронної елементної бази за ступенем ієрархії. Квантрон є структурним елементом однорідного оптоелектронного обчислювального середовища, в якого аналогова і цифрова обробка інформації супроводжується запам'ятовуванням та індикацією результатів без зміни внутрішньої структури елемента. Його режим визначається струмом світлодіода (СД), що задається рівнем збудження фотодіода (ФД) і коефіцієнтом підсилення транзисторного каскаду VT. За відсутності вхідного оптичного сигналу  $I_{сд} > I_0$ , ( $I_0$  – граничне значення струму ампер-яскравої характеристики СД), що визначає виключений (нульовий) стан квантрона. Стану "включено" відповідає нерівність  $I_{сд} > I_0$ , що означає світіння СД і появу світлового сигналу на

оптичному виході квантрона. Наявність оптичних та електричних входів і виходів, оптичного внутрішнього позитивного зворотного зв'язку визначає квантрон як елемент пам'яті й індикації. Квантрон може працювати в режимі генератора імпульсів з електричним і оптичним керуванням. Частота такого генератора може варіюватися в широких межах, а схема не містить реактивних елементів.

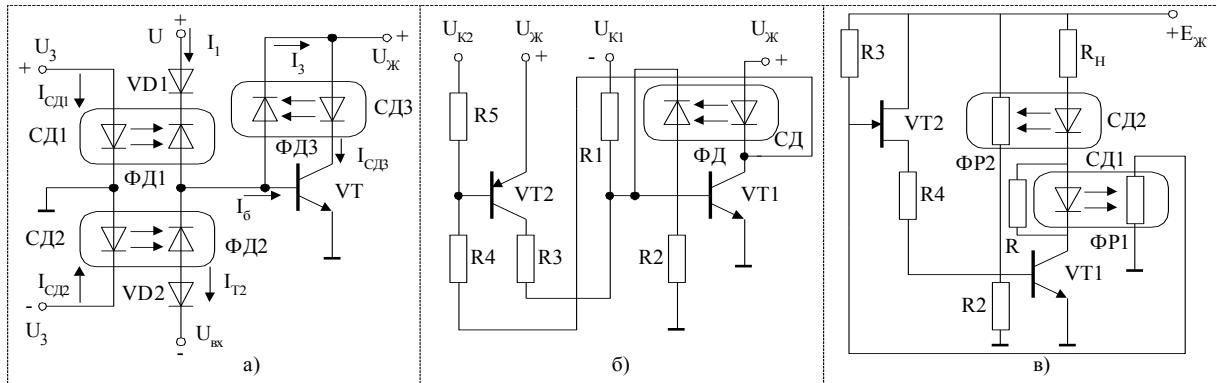


Рисунок 2 – Принципова схема квантрона, що об'єднує функції пам'яті й індикації (а) у режимі ВЧ (б) і НЧ (в) генерації

Проведені дослідження схем квантронів і побудованих на їх основі багатофункціональних оптоелектронних модулів показує, що з їх використанням можна проводити швидко оброблення напівтонових зображень.

У третьому розділі запропоновано опис інформаційних полів проводити у вигляді спектру просторової зв'язності складових їх елементів, що дозволяє в компактному вигляді представлення ознаки зв'язності для багаторадіційних зображень.

На основі запропонованого спектру просторової зв'язності модифіковано метод завадостійкого виявлення перепадів інтенсивності між відліками напівтонового зображення, формування трирівневих сигналів виявлення в сукупність контурних препаратів зображення.

Даний метод модифіковано, ввівши з цією метою пірамідальну процедуру формування позитивних, від'ємних та нульових препаратів. В результаті одержимо трирівневе, тернарне подання зображення.

Досліджувана в роботі попередня обробка містить такі операції. Вихідне двовимірне півтонове зображення подається матрицею інтенсивності відліків  $A = [a_{ij}]$ , де  $i = 1 \div N$ ;  $j = 1 \div M$   $M \times N$  – розмір вихідного зображення.

Для кожного рядка і стовпчика матриці  $A$  знаходиться середнє значення інтенсивності:

$$\bar{a} = \frac{1}{NM} \sum_{ij} a_{ij}. \quad (2)$$

Потім визначаються масиви різниць елемента з середнім значенням зображення (або його фрагмента), в якому знаходиться елемент зображення:

$$R_{ij} = a_{ij} - \bar{a}. \quad (3)$$

Для препарування вихідного зображення отримані різниці порівнюються з порогом  $\delta$ , тобто





Знайшов подальший розвиток метод просторово-зв'язаної сегментації багатоградацийних зображень, який з одного боку розглядається як простий засіб поділу зображення на множину однорідних областей, а з іншого боку – може бути використаний в якості простого засобу кластеризації, сформовані ознаки котрого, такі як внутрішньозрізна і міжзрізна зв'язності, формалізовані для оцінювання міри подібності і відмінності аналізованих зображень. На рис. 3а,б приведені приклади зображень об'єктів і відповідні їм спектри міжзрісної (зв'язність пікселів зображення між зрізами) і внутрішньозрісної (зв'язність пікселів зображення, усереднені зрізу) зв'язності.

Проведено дослідження отриманого спектра зв'язності, а саме:

- 1) визначення глобального максимуму функції;
- 2) визначення локальних максимумів функції.

Визначення глобального максимуму не становить труднощів і може бути подане функцією:

$$\max(\Delta^k) = \Delta'(K),$$

де  $\Delta'(K)$  – максимальне значення внутрішньозрісної зв'язності для зрізу з номером  $K$ . Визначення локальних максимумів функції, які досліджуються, часто буває ускладнене внаслідок її "зрізаності" і східчастого спектра. В цьому випадку логічно апроксимувати всю гістограму або її ділянку деякою аналітичною функцією і визначити критичні точки шляхом обчислення похідних.

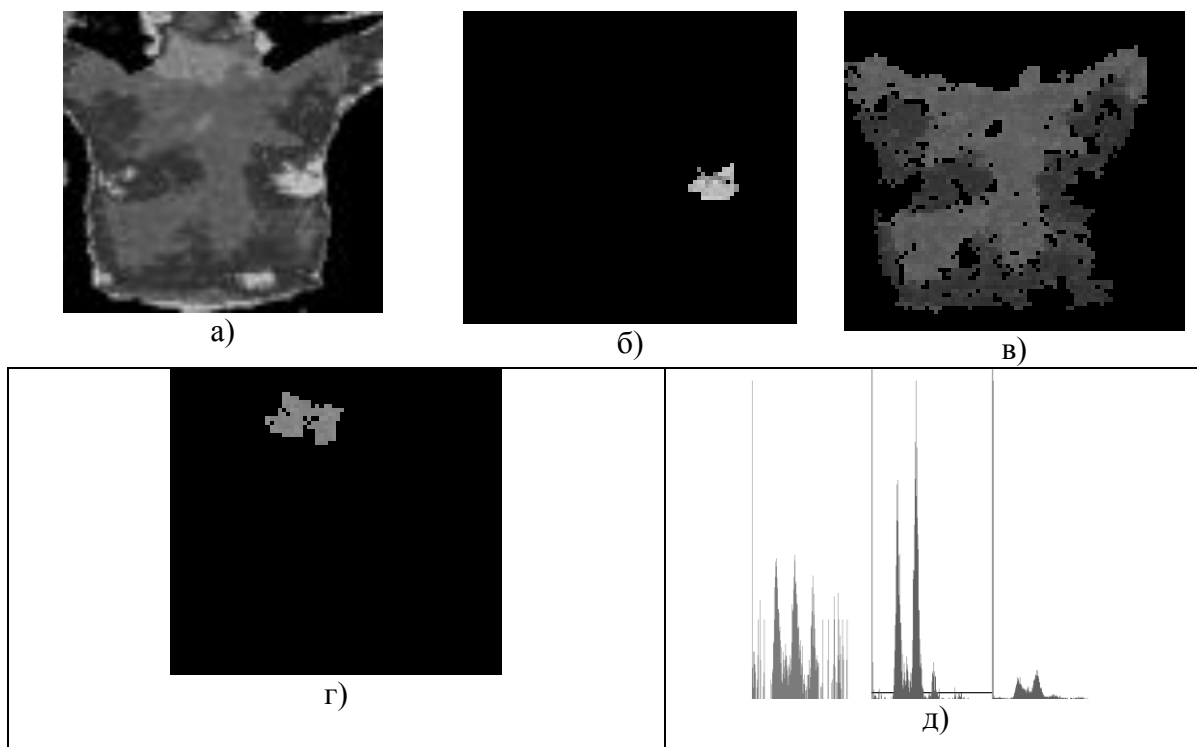


Рисунок 3 – Приклад автоматичної сегментації термозображення: а) вихідне термозображення; б) перший виділений сегмент; в) другий виділений сегмент; г) третій виділений сегмент; д) діаграма зв'язності термозображення.

Приклад автоматичної сегментації на основі методу аналізу гістограм зв'язності для термозображення (рис. 3а) поданий на рис. 3а-д. Як видно з даного прикладу, було виділено чотири основних сегменти. Для кожного з виділених сегментів були обчислені: поріг по зв'язності, кількість пікселів і площа. В порядку проходження на рис. 3а-д обчислені

параметри відповідно складають: 21,68 мм<sup>2</sup> і 7,48 мм<sup>2</sup>; 6,2673 мм<sup>2</sup> і 294,03 мм<sup>2</sup>; 4,128 мм<sup>2</sup> і 14,08 мм<sup>2</sup>.

Значення максимумів функції внутрішньозрізної зв'язності можна представити таким чином:

$$\Delta'(K) \geq \max \Delta(l_1) \geq \max \Delta(l_2) \geq \dots \geq \max \Delta(L),$$

де  $\max \Delta(l_1), \max \Delta(l_2), \dots, \max \Delta(L)$  – значення локальних максимумів функції внутрішньозрізної зв'язності зрізів  $l_1, l_2, L$  відповідно.

Для подальшого аналізу становлять інтерес не самі значення максимумів, а номери зрізів, яким вони належать.

Формування функції міжзрізної зв'язності здійснюється для кожного зрізу і сусіднього з ним наступного зрізу та має вигляд:

$$\Delta(k, k+1) = \sum_{m=1}^M \sum_{n=1}^N \left( \begin{array}{l} b^k(m, n) \cap b^{k,k+1}(m+1, n) + b^k(m, n) \cap b^{k,k+1}(m-1, n) + b^k(m, n) \cap b^{k,k+1}(m, n+1) + \\ b^k(m, n) \cap b^{k,k+1}(m, n-1) + b^k(m, n) \cap b^{k,k+1}(m+1, n+1) + b^k(m, n) \cap b^{k,k+1}(m-1, n+1) + \\ b^k(m, n) \cap b^{k,k+1}(m+1, n-1) + b^k(m, n) \cap b^{k,k+1}(m-1, n-1) \end{array} \right).$$

Для спектру міжзрізної зв'язності, на відміну від функції внутрішньозрізної зв'язності, інтерес представляє не весь спектр, а його окремі ділянки. Процес виділення цих ділянок полягає в наступному. В якості початкового вибираються зрізи, сусідні з тим зрізом, який має максимальну внутрішньозрізну зв'язність, тобто  $K+1$  і  $K-1$ . Значення функцій міжзрізної зв'язності  $\Delta(K, K+1)$  і  $\Delta(K, K-1)$  порівнюються з визначеним граничним значенням. На підставі цього вирішується питання про приналежність елементів досліджуваних зрізів до вихідної функції.

Якщо  $\Delta(K, K+1) > P$ , то  $R(K+1)$  належить  $V_i$  або  $B(K+1)$  належить  $V_i$ , відповідно, якщо  $\Delta(K, K-1) > P$ , то  $R(K-1)$  належить  $V_i$  або  $B(K-1)$  належить  $V_i$ , де  $P$  – граничне значення міжзрізної зв'язності для виділених сегментів. Процес відбувається "вліво" і "вправо" (або "нагору" і "вниз") від зрізу з максимальним значенням внутрішньозрізної зв'язності.

Виділена область утворить множину елементів, координати яких визначаються координатами одиничних елементів виділених бінарних зрізів.

$$V_i = \dots \wedge B(K-1) \wedge B(K) \wedge B(K+1) \wedge \dots \quad - \text{ для бінарного вигляду,} \quad (7)$$

$$R_i = \dots \wedge R(K-1) \wedge R(K) \wedge R(K+1) \wedge \dots \quad - \text{ для напівтонового вигляду.} \quad (8)$$

Такі ж операції (7), (8) можуть бути використані щодо зрізів із локальними максимумами внутрішньозрізної зв'язності. Внаслідок цього, утворюється множина зображень, яка формує окремі сегменти вхідного зображення  $A$ . В межах границь цих областей яскравість змінюється плавно.

Отримані сегменти  $V_1 \dots V_n$  можливо використовувати для подальшого дослідження на предмет зв'язності одного з іншим. Це має сенс, якщо задача сегментації містить в собі виділення об'єкта, утвореного з декількох сегментів:

$$\Delta(V_l, V_{l+1}) = \sum_{m=1}^M \sum_{n=1}^N \left( \begin{array}{l} v^l(m, n) \cap v^{l+1}(m+1, n) + v^l(m, n) \cap v^{l+1}(m-1, n) + \\ v^l(m, n) \cap v^{l+1}(m, n+1) + v^l(m, n) \cap v^{l+1}(m, n-1) + \\ v^l(m, n) \cap v^{l+1}(m+1, n+1) + v^l(m, n) \cap v^{l+1}(m+1, n-1) + \\ v^l(m, n) \cap v^{l+1}(m-1, n+1) + v^l(m, n) \cap v^{l+1}(m-1, n-1) \end{array} \right),$$

де  $\Delta(V_l, V_{l+1})$  – функція міжзрізної зв'язності між областями  $V_l$  і  $V_{l+1}$ .

При цьому за ознакою зв'язності аналізуються не тільки контури досліджуваних областей, але і враховуються можливі "дірки", що утворюються на зображенні з окремих її елементів. Розроблена програма для методу сегментації зображень на основі ознак просторової зв'язності.

*Вперше одержаний* метод виділення контуру зображення для реалізації квантронного оброблення зображень, що дозволяє простими у схемотехнічному сенсі квантронними засобами проводити контурне оброблення складних зображень у реальному часі.

При виділенні контуру кожна сторінка області пам'яті розбивається на чотири смуги. В кожному такті відбувається аналіз масиву області пам'яті розміром 4x4 комірки. По рядках і по стовпцях виконується поелементний аналіз фрагменту зображення, що зберігається в даному масиві. Суть методу (рис. 4) полягає в тому, що виконується одночасно аналіз збуджених елементів зображення по рядках і стовпцях, що містяться на вихідній матриці  $I$ . Причому, окремо виділяють елементи правих і лівих, нижніх і верхніх частин контурів зображення, відповідно на 2.1 і 2.2, 2.3 і 2.4 матрицях аналізу стовпця. Для цього аналізують стани в поточний момент часу елементів зображення, що передує і слідує за даним у рядку або стовпці. Для виділення елементів правого краю на матриці 2.1 виконують аналіз послідовно від початку рядка, на матриці 2.2 – елементів лівого краю від кінця рядка, на матриці 2.3 – елементів нижнього краю від початку стовпця, а на матриці 2.4 – елементів верхнього краю від кінця стовпця, обнуляючи при цьому той збуджений елемент рядка або стовпця, попередній елемент якого обнулений, а наступний – збуджений. При цьому послідовний аналіз елементів усіх рядків і стовпців матриць 2.1, 2.2, 2.3 і 2.4 виконують одночасно. В матриці обробки  $Z$  виконують логічні операції над елементами матриць аналізу 2.1, 2.2, 2.3 і 2.4 з метою виділення елементів і контурів зображень об'єктів. Відповідно, аналіз полягає в тому, що виконується поелементне в напрямку аналізу обнуління тих збуджених комірок зображення, для яких наступні за напрямком аналізу комірки збуджені.

Такий аналіз масиву області пам'яті розміром 4x4 виконується одночасно в чотирьох квантронних блоках аналізу: в першому – в напрямку зліва направо; в другому – справа наліво; в третьому – знизу вверху; в четвертому – зверху вниз. Оскільки такий масив містить не все зображення, а лише його фрагмент, то при обнулінні останнього стовпця або рядка (в залежності від напрямку аналізу) необхідно враховувати стовпець або рядок сусіднього масиву, що розміщений за напрямком аналізу. Наприклад, для першого блоку аналізу необхідно враховувати перший стовпець масиву, розміщеного праворуч від даного масиву в цій же смузі. Обнулюються ті збуджені комірки останнього стовпця даного масиву зображення, для яких наступні за напрямком аналізу комірки, тобто комірки першого стовпця наступного масиву, збуджені.

Оскільки в чотирьох квантронних блоках проводиться аналіз зображення за чотирма напрямками, то в результаті формуються різні фрагменти контуру зображення, що міститься в масиві 4x4. Якщо прийняти, що  $x_1(i, j), x_2(i, j), x_3(i, j), x_4(i, j)$  – це сигнали від комірки  $(i, j)$ , відповідно першого, другого, третього і четвертого блоків аналізу, то

$$f_1(i, j) = x_1(i, j) + x_2(i, j) + x_3(i, j) + x_4(i, j) \quad (9)$$

є елементом  $(i, j)$  контуру зображення;

$$f_2(i, j) = (x_1(i, j) + x_2(i, j))(x_3(i, j) + x_4(i, j)) \quad (10)$$

є елементом  $(i, j)$  похилої частини контуру зображення;

$$f_3(i, j) = (x_1(i, j) + x_2(i, j) + x_3(i, j) + x_4(i, j)) \overline{(x_1(i, j) + x_2(i, j))} \quad (11)$$

є елементом  $(i, j)$  горизонтальної частини контуру зображення;

$$f_4(i, j) = (x_1(i, j) + x_2(i, j) + x_3(i, j) + x_4(i, j)) \overline{(x_3(i, j) + x_4(i, j))} \quad (12)$$

є елементом  $(i, j)$  вертикальної частини контуру зображення.

Далі проводиться підрахунок окремо елементів загального контуру, похилої, вертикальної і горизонтальної частин контуру. Суми (9)–(12) є вихідними даними для подальшого обчислення ознак зображення.

Розроблені методи та програмно-апаратні засоби квантронного оброблення зображень дозволяють підвищити ефективність цього оброблення та розв'язати комплекс задач, пов'язаних з ущільненням зображень при передачі по каналах зв'язку та ущільненні напівтонових зображень з втратами.

**Четвертий розділ** роботи присвячено розробці комп'ютерної системи для оброблення термозображень, яка містить реалізацію методів автоматичної сегментації на основі узагальнено-контурного препарування виду (6) та аналізу ознак зв'язності. У розділі, також, досліджуються квантрони та реалізація квантронного оброблення зображень на прикладі сегментації зображення та виділення його контуру.

Для комп'ютерного моделювання методів сегментації були вибрані біомедицинські зображення – термозображення. Завданням лікаря-дослідника є правильно диференціювати ту чи іншу патологію. Часто це завдання важко виконати, оскільки людський зір при ідентифікації зображень суттєво обмежений сприйняттям напівтонів за шкалою сірого і, як наслідок, об'єктивно не здатний проводити діагностику в повному динамічному діапазоні шкали сірого. Крім того, невеликі зміни в зображеннях, з тієї ж причини, також важко розпізнати. Тому стає актуальною розробка та реалізація нових підходів автоматизації процесу розпізнавання патологічних процесів, що допомагають лікарю-досліднику правильно поставити діагноз.

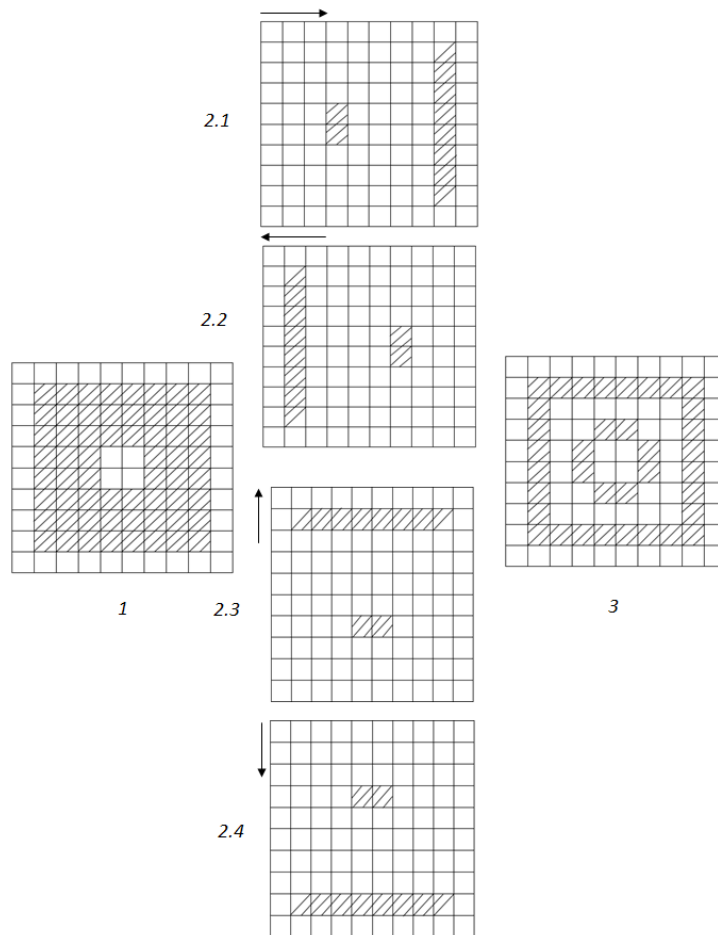


Рисунок 4 – Приклад аналізу фрагменту зображення

Система реалізована на базі тепловізора “Радуга”, ПК і розробленого інтерфейсного пристрою. У системі реалізовані режими сегментації на основі ланцюжкового кодування (ручний метод сегментації) та автоматичної сегментації, останній з яких розглянутий на основі операції узагальнено-контурного препарування.

Розроблений у роботі метод обчислення площі контуру термозображення базується на методі Фрімена кодування ліній, що розмежовують чорні та білі області двоградаційного термозображення. Ланцюгові ланки складаються із прямолінійних відрізків, які з’єднують сусідні елементи термозображення по вертикальному, горизонтальному та діагональному напрямках. Для визначення площі на кожному кроці методу при знаходженні вертикального напрямку контурної лінії враховується елементарна площа, яку займає один піксель. У разі знаходження діагонального напрямку контурної лінії враховується площа, яку займає половина квадрата. На першому кроці методу розраховується площа зовнішнього контуру термозображення, а на другому – аналізується створений зовнішнім контуром перший внутрішній контур. Причому, для всіх наступних кроків методу при знаходженні вертикального та діагонального напрямків контурної лінії термозображення правило обчислення елементарних площ зберігається. Аналогічним чином обчислюється площа другого внутрішнього контуру, яка створюється першим внутрішнім контуром термозображення. Таким чином, на кожному кроці методу обчислюється площа контуру термозображення, яка створюється попереднім контуром термозображення.

Розроблений метод, алгоритм та програма обчислення контурів термо-зображення і визначення їх відсоткового співвідношення дозволяє у середньому на 15%÷20% знизити похибку визначення площі. Розроблені, також, метод, алгоритм і програма масштабування

для дослідження невеликих контурів термозображення, що дозволяє збільшити ефективність обчислення малих площ.

Приклад роботи комп'ютерної системи у ручному режимі сегментації поданий на рис. 5. Реалізована у системі схема автоматичної сегментації дозволяє послідовно виділяти окремі сегменти термозображення (рис. 6), які відповідають визначеним градаціям шкали сірого.

Для оцінки ефективності розробленого методу багаторівневої сегментації на основі узагальнено-контурного препарування була використана стандартна нормована кореляційна функція на основі нерівності Шварца – Буняковського.

Як показали проведені дослідження, нормовану кореляційну функцію можна успішно також використовувати для оцінювання динаміки розвитку патологічного процесу.

Експериментальні дослідження розробленої комп'ютерної системи містили обробку тестових термозображень ручним та запропонованими автоматичними методами сегментації з подальшим порівнянням їх результатів за допомогою нормованої кореляційної функції Шварца–Буняковського. Застосування нормованої кореляційної функції найбільш виправдано, оскільки використання інших альтернативних (ненормованих) методів порівняння, наприклад, на основі квадратичної або іншої міри подібності призводить до неправильних оціночних результатів.

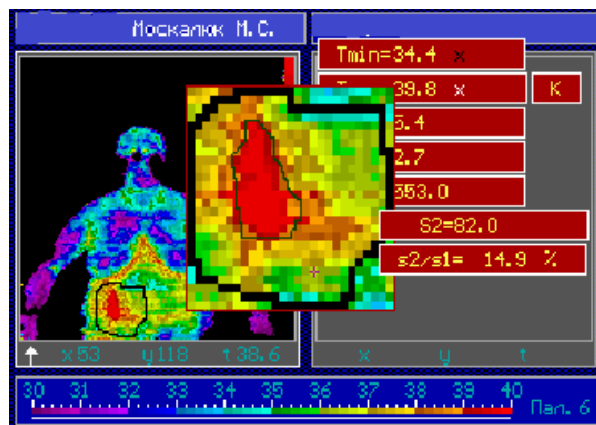
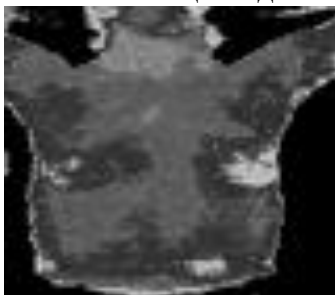
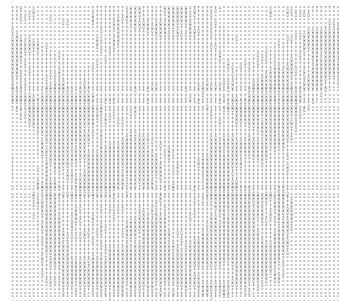


Рисунок 5 – Приклад роботи комп'ютерної системи у ручному режимі сегментації

Схема проведення експериментальних досліджень на розробленій комп'ютерній системі для сегментації на основі ланцюжкового кодування (ручна сегментація) та автоматичної сегментації подана на рис. 7.



а)



б)

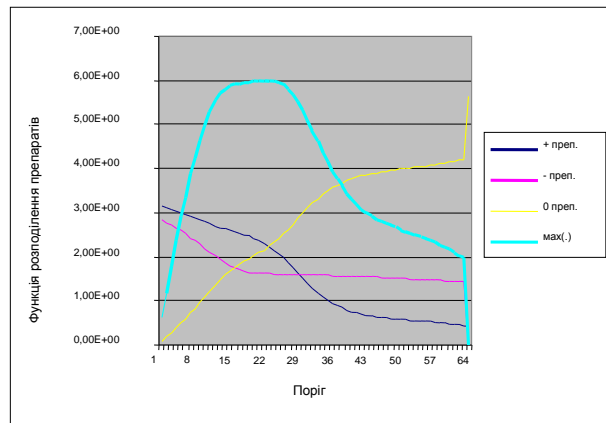


Рисунок 6 – Приклад роботи системи в автоматичному режимі сегментації термозображень: а) термозображення, яке досліджується; б) оброблене термозображення після першого кроку автоматичної сегментації; в) графіки розподілу контурних препаратів для термозображення, що досліджується

Порівняльний аналіз результатів ручного та автоматичного методів сегментації (відповідних зображень нульових, додатних та від'ємних контурних препаратів) показав повну їх адекватність, тобто майже абсолютний збіг результатів ручного й автоматичного методів сегментації термозображень (коефіцієнт кореляції визначався у межах  $0,95 \div 0,99$ ).

У табл. 1 подані узагальнені результати порівняльного аналізу – кореляційного порівняння виділених сегментів ручним та запропонованим автоматичним методами сегментації за схемою, наведеною на рис. 9, кореляційного порівняння виділених сегментів ручним методом сегментації і сегментації на основі нарощування областей, а також кореляційного порівняння виділених сегментів ручним методом сегментації і на основі рекурентного методу порогового обмеження за яскравістю бази даних, яка містить 500 термозображень. Результати порівняльного аналізу показують, що розроблений метод автоматичної сегментації за якістю операції сегментації може бути порівнянний з методом сегментації на основі методу нарощування областей. Проте, очевидною перевагою розробленого методу є можливість реалізації спрощеної процедури багаторівневого розподілу областей, що сегментуються, за рахунок формування відповідних гістограм зв'язностей і адаптивного визначення порогу зв'язності для виконання операції узагальненого контурного препарування. Це забезпечує процедуру автоматичного розподілу областей біомедичного зображення, що сегментується, на окремі частини.



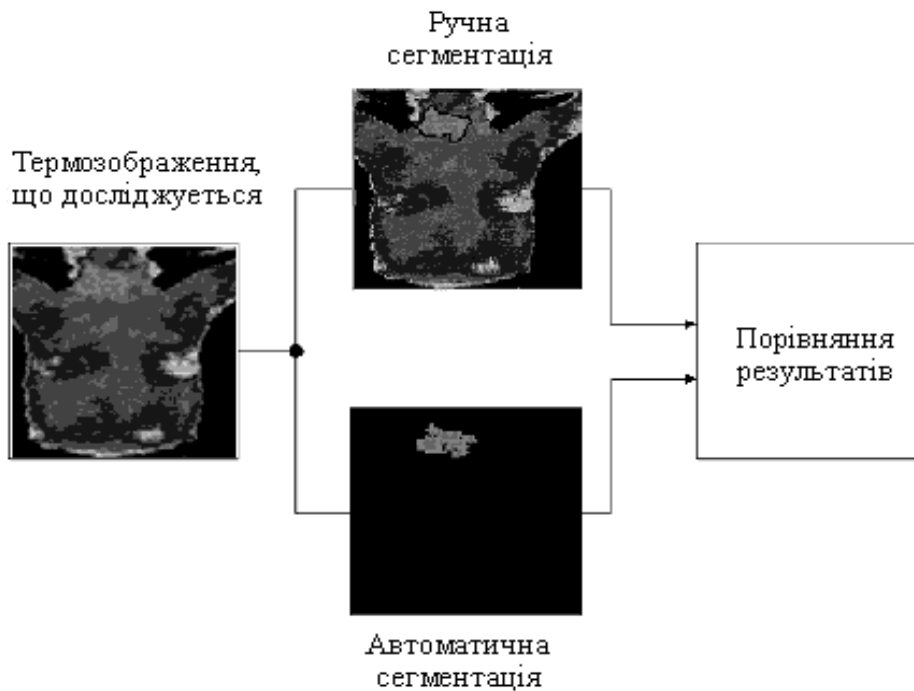


Рисунок 7 – Схема проведення експериментальних досліджень на розробленій комп'ютерній системі для автоматичної сегментації термозображень

Проведені експериментальні дослідження базових схем квантронної елементної бази, приклади якої представлені на рис. 2. В якості оптронів у схемах квантронів використовувалась швидкодіюча схема оптрона 6N136 (Fairchild Semiconductor Corporation) із часом вмикання/вимикання 0,5..1,5 $\mu$ S і відчиненим колектором на виході. В якості фотоприймача в оптроні 6N136 використовується швидкодіючий фотодіод, чим забезпечується прийнятна швидкодія квантрона, а в якості вихідного ключового елементу – транзистор.

Таблиця 1 – Результати порівняльного аналізу різноманітних методів сегментації

Досліджуваний метод сегментації	Коефіцієнт кореляції областей, що сегментується
Запропонований метод автоматичної сегментації	0,95 – 1,00
Рекуррентний метод граничного обмеження за яскравістю	0,85 – 0,90
Сегментація за допомогою нарощування областей	0,90 – 0,97

Дослідження часових параметрів квантрону показує, що найбільш стабільною є схема включення квантрону з електричним методом збудження та гасіння з розкидом часу включення не більше 15%, а часом виключення – не більше 4%. Подібні структури (із динамічною багатofункціональністю), володіючи гнучкими схемотехнічними можливостями керування внутрішніми процесами, не потребують надзвичайно стійких експлуатаційних параметрів. Ці структури зорієнтовані на розв'язання задач неточними методами, замість концентрації сил на точних обчисленнях із високостабільною елементною базою. До подібних задач відносяться такі, як розпізнавання об'єктів і навколишнього оточення, а також прийняття рішень за умов, коли відомі не всі факти.

Для оброблення зображень розроблена схема операційної частини квантронного пристрою, який реалізує алгоритм контурного виділення сегментованого зображення із формуванням ознак для розпізнавання, формалізація якого дана виразами (9)–(12). При використанні в пристрої синхросигналу з частотою  $f = 5\text{МГц}$  запис вхідної інформації і формування величин відповідних площ проводиться за 21,6 мс, визначення координат центру зображення – за 12,6 мс, виділення контуру і ознак для розпізнавання зображення – за 3,8 мс. Отже, загальний час виконання операцій у пристрої не перевищує 40 мс, що дозволяє обробляти зображення в реальному часі.

## ВИСНОВКИ ПО РОБОТІ

Дисертаційна робота спрямована на вирішення актуальної науково-технічної задачі – підвищення ефективності квантронного оброблення зображень за рахунок використання оптоелектронних багатофункціональних елементів. Одним з основних підходів, що забезпечує розв’язання цієї задачі, є розробка методів та оптоелектронних засобів на основі квантронних елементів із динамічною багатофункціональністю, що забезпечує ефективне оброблення зображень.

У процесі проведення наукових досліджень, викладених у дисертації, отримано такі основні результати:

1. *Проведено* огляд класичних підходів до оброблення зображень та показано, що до основних недоліків класичних комп’ютеризованих систем можна віднести низьку швидкодію послідовної обробки інформації та відносно невисоку точність отриманих результатів, які заважають повній автоматизації даних систем. Тому обробка образної інформації обумовлює використання систем оброблення зображень, які побудовані за принципами оптико-електронних технологій, що здатні імітувати функції зорової системи людини, на оптичному рівні самостійно сприймати, обробляти та аналізувати відеоінформацію в реальному часі, з можливістю самоналагодження на конкретні умови експлуатації та з оптимальною програмно-апаратною реалізацією.
2. *Проаналізовано* теоретичні положення розробки квантронних алгоритмічних і апаратних засобів, для яких виявлена властивість динамічної багатофункціональності та умови досягнення максимальної швидкодії за мінімальної складності їх алгоритмічних і технічних засобів та *запропоновані* схеми квантронів і багатофункціональних оптоелектронних модулів, за допомогою яких можна проводити швидке оброблення напівтонових зображень.
3. *Запропоновано* опис інформаційних полів проводити у вигляді спектру просторової зв’язності складових їх елементів, що дозволяє в компактному вигляді представляти ознаки зв’язності багаторадаційних зображень та модифікувати метод пірамідального узагальнено-контурного препарування із застосуванням критеріальної системи для *автоматичного* обчислення порогу, який адаптований до конкретного зображення, що дозволяє здійснити завадостійкий процес переопису багаторадаційного зображення в тернарне.
4. *Знайшов подальший розвиток* метод просторово-зв’язаної сегментації багаторадаційних зображень, який, з одного боку, розглядається як простий засіб поділу зображення на множину однорідних областей, а з іншого боку – може бути використаний в якості простого засобу кластеризації, сформовані ознаки котрого такі, як внутрішньозрізна і міжзрізна зв’язності, формалізовані для оцінювання міри подібності і відмінності аналізованих зображень.
5. При дослідженні квантронів *показано*, що найбільш стабільною є схема вмикання квантрона з електричним методом збудження і гасіння з розкидом часу вмикання не більше 15%, а часом вимикання – не більше 4%.

6. *Вперше проведені експериментальні дослідження автоматичних методів сегментації на основі аналізу міжзрізної та внутрішньозрізної зв'язності та пірамідального узагальнено-контурного препарування біомедичних зображень, які довели адекватність отриманих теоретичних та експериментальних результатів, оскільки для різних патологій результати автоматичної сегментації, з одного боку, і ручної сегментації, з іншого боку, виявились ідентичними, тобто всі результати машинного і ручного моделювання майже цілком збігаються, а нормовану кореляційну функцію можна успішно використовувати для оцінювання динаміки розвитку патологічного процесу.*
7. *Розроблено процедуру визначення площі зони інтересу термозображення та розроблені алгоритм і програма обчислення контурів термозображення і визначення їх відсоткового співвідношення, які дозволяють в середньому на 15-20% знизити похибку визначення площі.*
8. *Експериментальні дослідження квантронного пристрою оброблення зображень показали, що загальний час виконання операцій не перевищує 40 мс, що дозволяє обробляти зображення в реальному часі.*

### СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

1. Кириченко О. В. Порівняння схем квантування дискретних спектрів зображень / А. С. Васюра, А. Я. Кулик // Інформаційні технології та комп'ютерна інженерія. – 2006. – № 2 (6). – С. 100–104.
2. Кириченко О. В. Нові підходи до реалізації оптоелектронних логіко-часових систем для перетворення і ущільнення зображень / В. П. Майданюк, О. В. Кириченко // Оптико-електронні інформаційно-енергетичні технології. – 2012. – № 2. – С. 15–22. – ISSN 1681-7893.
3. Математичне обґрунтування граничного ущільнення інформації в квантронних структурах некогерентних процесорів / В. П. Кожем'яко, Н. В. Сачанюк-Кавецька, В. П. Майданюк, О. В. Кириченко // Оптико-електронні інформаційно-енергетичні технології. – 2009. – № 1(17). – С. 5–12. – ISSN 1681-7893.
4. Кириченко О. В. Алгоритм ущільнення і відновлення одноколірних напівтонових зображень // Інформаційні технології та комп'ютерна інженерія. – 2006. – № 1 (5). – С. 169–173.
5. Кириченко О. В. Ущільнення даних без втрат на основі перетворень / В. П. Майданюк О. В. Кириченко // Оптико-електронні інформаційно-енергетичні технології. – 2008. – № 2(16). – С. 71–77. – ISSN 1681-7893.
6. Кириченко О. В. Перетворювач світлової інтенсивності в часовий інтервал / О. В. Кириченко // Міжнародна науково-практична конференція з оптоелектронних інформаційних технологій «Photonics-ODS», September 28-30, 2010, Вінниця, Україна. – С. 24.
7. Кириченко О. В. Спосіб паралельного формування ущільненої суми часоімпульсних сигналів / Міжнародна науково-практична конференція «Інформаційні технології та комп'ютерна інженерія», 28-30 травня, 2010 р., Вінниця, Україна. – С. 283–284.
8. Кириченко О.В. Наслідки теореми граничного ущільнення логіко-часової інформації в квантронних структурах штучного інтелекту // Международная научная конференция - Системы и средства искусственного интеллекта. – Россия, Краснодарский край, Геленджикский район, пос. Дивноморское, 2009 г. – С. 98–100.
9. Кириченко О.В. Алгоритм ущільнення зображень/ Міжнародна науково-практична конференція "Інформаційні технології та комп'ютерна інженерія". – Вінниця, Україна – 2010 р. – С.145.

10. Кириченко О.В. Алгоритм ущільнення і відновлення одноколірних напівтонових зображень // VIII Міжнародна науково-технічна конференція „Контроль та управління в складних системах” – Вінниця, Україна – 2005 р. – С.81.

11. Принципи ущільнення та перетворення зображення: Монографія / В. П. Кожем'яко, А. С. Васюра, Н. В. Сачанюк-Кавецька, О. В. Кириченко // Вінниця : ВНТУ, 2010. – С. 261. – ISBN 978-966-641-404-8.

12. Кириченко А. В. Аппаратная реализация квантронной обработки изображений / Кириченко А. В. Тимченко Л. И. // Современный научный вестник. – 2013. – №32 (171). – С. 31–42. – ISSN 1561-6886.

13. Кириченко О. В. Розробка методів для реалізації квантронного оброблення зображень / Тимченко Л. І., Кириченко О. В. // Придніпровський научний вестник. – №8 (144). – 2013. – С. 15–26. – ISSN 1561-6940.

14. Kyrychenko O. V. Transformation and compression of images in optoelectronic logic and time environments / Kozhemiako V. P., Maidaniuk V. P., Kyrychenko O. V. // Nauka i studia. – № 21 (89). – 2013. – P. 35–43. – ISSN 1561-6894.

15. Патент України № 49600, МПК G01R 19/0. Кожем'яко В. П., Кириченко О. В., Иванов О. А. Оптоелектронний лічильний тригер. Заявник і патентовласник Вінницький національний технічний університет. – №201000133 22.06.09; заявл. 22.05.09; опубл. 11.05.2010; Бюл. №9.

16. Патент України № 49825, МПК (2009) G04G 3\00. Оптоелектронний лічильник імпульсів / Кожем'яко В. П., Ричило І. М., Кириченко О. В., Заявник і патентовласник Вінницький національний технічний університет. – № 201000358; заявл. 15.01.10; опубл. 11.05.2010, Бюл. №9.

17. Патент України № 54352, МПК (2010) G06G 7\14. Спосіб паралельного додавання тривалостей групи часоімпульсних сигналів/ Кожем'яко В. П., Майданюк В. П., Кириченко О. В. Поплавська А. А., Заявник і патентовласник Вінницький національний технічний університет. – № 201004204; заявл. 12.04.2010; опубл. 10.11.2010, Бюл. № 21.

18. Патент України №49914, МПК (2009) H03K\00. Перетворювач світлової інтенсивності в часовий інтервал / Кожем'яко В. П., Штельмах С. О., Кириченко О. В., Шевченко Н. П. Заявник і патентовласник Вінницький національний технічний університет. – № 200909545; заявл. 17.09.09; опубл. 11.05.2010, Бюл. №9.

19. Патент України № 47874, МПК (2009) G04F 10\00. Цифровий вимірювач одиничних часових інтервалів / Кожем'яко В. П., Иванов О. А., Кириченко О. В.; Заявник і патентовласник Вінницький національний технічний університет. – № 200909545; заявл. 17.09.09; опубл. 25.02.10, Бюл. №4.

## АНОТАЦІЯ

**Кириченко О.В. Методи та програмно-апаратні засоби квантронного оброблення зображень.** – На правах рукопису.

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.13.05 – комп'ютерні системи та компоненти. – Вінницький національний технічний університет, Вінниця, 2013.

Дисертаційна робота спрямована на вирішення актуальної науково-технічної задачі – розробці методів та квантронних засобів швидкого оброблення зображень з метою підвищення ефективності їх порівняння. В дисертації запропоновані методи та квантронні засоби швидкого оброблення зображень. Розроблені низка методів узагальнено-контурного препарування, автоматичної сегментації на основі аналізу внутрішньозрізової і міжзрізової зв'язності для термозображень із виділенням їх контурів.

Проведені експериментальні дослідження розроблених методів, у результаті яких виявлена висока ефективність запропонованих методів автоматичної сегментації. Здійснено

експериментальні дослідження квантронної елементної бази та розроблений квантронний пристрій швидкого оброблення зображень із операцією виділення їх контурів. Для оброблення зображень розроблена схема операційної частини квантронного пристрою, який реалізує алгоритм контурного виділення сегментованого зображення.

**Ключові слова:** зображення, контурне оброблення, квантрон, сегментація, препарування, зв'язність, термозображення.

## АННОТАЦІЯ

**Кириченко А.В. Методы и программно-аппаратные средства квантронной обработки изображений.** – На правах рукописи.

Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.13.05 – компьютерные системы и компоненты. – Винницкий национальный технический университет, Винница, 2013.

В диссертации предложены методы и квантронные средства для быстрой обработки изображений. Проведен анализ исходных теоретических положений квантронной обработки изображений и методов контурной обработки изображений. Актуальность работы состоит в том, что анализ характеристик существующих цифровых устройств обнаружения объектов показывает, что они в полной мере не удовлетворяют требованиям, которые предъявляют к таким системам. Эти требования включают в себя обеспечение максимальной простоты для достижения максимального быстродействия с сохранением высокой точности вычислений и функциональных возможностей устройств, высокой помехоустойчивости алгоритмических способов, устойчивости к изменению относительных характеристик объекта наблюдения и адаптации к априорно неизвестному фону.

Проанализированы теоретические положения разработки квантронных алгоритмических и аппаратных средств, для которых выявлено свойство динамической многофункциональности и условия достижения максимального быстродействия при минимальной сложности их алгоритмических и технических средств, а также предложены квантронные структуры – схемы квантронов и многофункциональных оптоэлектронных модулей, с помощью которых можно производить быструю обработку полутоновых изображений.

Предложено описание информационных полей проводить в виде спектра пространственной связности составляющих их элементов, позволяющее в компактном виде представлять признаки связности многоградационных изображений. Модифицирован метод пирамидального обобщенно-контурного препарирования с применением критериальной системы для автоматического вычисления порога, адаптированный к конкретному изображению, что позволяет осуществить помехоустойчивый процесс преобразования многоградационного изображения в тернарное.

Получил дальнейшее развитие метод пространственно-связанной сегментации многоградационных изображений, который, с одной стороны рассматривается как простое средство разделения изображения на множество однородных областей, а с другой – может быть использован в качестве простого средства кластеризации, сформированные признаки которого, такие как внутрисрезовая и межсрезовая связности, формализованы для оценки степени подобия и различия анализируемых изображений. Впервые предложен метод выделения контура изображения для реализации квантронной обработки изображений, позволяющий простыми, в схемотехническом смысле, оптоэлектронными средствами проводить контурную обработку сложных изображений в реальном режиме времени.

Впервые проведены экспериментальные исследования автоматической многоуровневой сегментации на основе анализа межсрезовой и внутрисрезовой связности биомедицинских изображений, показавшие адекватность полученных теоретических результатов, так как для различных патологий результаты автоматической многоуровневой сегментации на основе анализа связности, с одной стороны, и ручной сегментации – с другой

стороны, оказались идентичными, т. е. все результаты машинного и ручного анализа почти полностью совпадают, а нормированную корреляционную функцию можно успешно использовать для оценки динамики развития патологического процесса.

Показано, что для распознавания изображений необходимо выбирать признаки изображения, инвариантные к различным его положениям на экране: углового положения к его смещению по осям  $x$ ,  $y$  относительно центра экрана – такими признаками являются отношения вертикальных, горизонтальных и наклонных длин составляющих элементов контура к общей длине контура, позволяющие формировать признаки изображения, инвариантные к его масштабу.

**Ключевые слова:** изображение, контурная обработка, квантрон, сегментация, препарирование, связность, термоизображение.

## ABSTRACT

### **Kirichenko A. V. Methods and Hardware and Software Tools for Qvantron Image Processing. – Manuscript.**

Dissertation for the degree of PhD, specialty 05.13.05 – computer systems and components. – Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, 2013.

The thesis aims to address important scientific and technical problem - the development of methods and tools kvantronnyh fast image processing to improve their comparison. The thesis propose methods and qvantron tools for fast image processing. A number of generalized contour preparation methods, automatic segmentation methods based on the inner section and the outer section connectivity analysis for thermal images with the release of their contours. The experimental researches of developed methods have been made and the results revealed high efficiency of the proposed methods for automatic segmentation. The experimental studies of qvantron components base have been done and qvantron device of fast image processing with operation for selection of its contours have been designed. For image processing developed kvantronnoho diagram of the device, which implements the algorithm of contour selection segmented image.

Keywords: image, contour processing, qvantron, segmentation, preparation, connectivity, thermal image.

Підписано до друку 02.10.2013 р. Формат 29.7×42 ¼

Наклад 120 прим. Зам. № 2013-173

Віддруковано в комп'ютерному інформаційно-видавничому центрі

Вінницького національного технічного університету

м. Вінниця, вул. Хмельницьке шосе, 95. Тел.: 59-81-59