Міністерство освіти і науки України
Вінницький національний технічний університет

МАРТЬЯНОВА ТЕТЯНА АНДРІЇВНА

УДК 004.931

МЕТОД І СИСТЕМА ДЛЯ ВИЗНАЧЕННЯ СУДИННИХ ПАТОЛОГІЙ ОЧНОГО ДНА ПРИ ЦУКРОВОМУ ДІАБЕТІ

Спеціальність 05.11.17 – біологічні та медичні прилади і системи

Автореферат
дисертації на здобуття наукового ступеня
кандидата технічних наук

Вінниця – 2015

Дисертацією є рукопис.

Роботу виконана у Вінницькому національному технічному університеті Міністерства освіти і науки України.

Науковий керівник:	доктор технічних наук, професор **Кожем'яко Володимир Прокопович**, Вінницький національний технічний університет, завідувач кафедри лазерної та оптико-електронної техніки.
Офіційні опоненти:	доктор технічних наук, професор **Ткачук Роман Андрійович,** Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя, професор кафедри біотехнічних систем;
	доктор технічних наук, професор **Сторчун Євген Володимирович** Національний університет "Львівська політехніка", професор кафедри електронних засобів інформаційно-комп'ютерних технологій.

Захист відбудеться "10" грудня 2015 р. о 9^{30} годині на засіданні спеціалізованої вченої ради К 05.052.06 у Вінницькому національному технічному університеті за адресою: 21021, м. Вінниця, вул. Хмельницьке шосе, 95, ГНК, ауд. 210.

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

Автореферат розісланий " 9 " листопада 2015 р.

Учений секретар
спеціалізованої вченої ради С. В. Тимчик

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність теми. Цукровий діабет – одне з найпоширеніших захворювань у світі. Хвороба вражає людей різного віку і часто носить спадковий характер. В Україні прийнята комплексна Програма «Цукровий діабет», метою якої є зниження рівня захворюваності на цей недуг, зменшення кількості ускладнень цієї хвороби, що призводять до інвалідності і смертності, а також збільшення тривалості та поліпшення якості життя хворих на цукровий діабет. Патологія очного дна є одною з ключових проблем сучасної офтальмології. Не дивлячись на значні успіхи, досягнуті за останні десятиріччя у діагностиці та лікуванні офтальмологічних захворювань, кількість хворих із ураженням сітківки судинного ґенезу продовжує збільшуватись (Бранчевський Б. Л., Кацнельсон Л. А., Durecy N. M., Салдан Й. Р., Павлов С. В. та інші).

У зв'язку з тим, що ефективність лікування судинної патології очного дна при цукровому діабеті у значній мірі залежить від точності визначення її ступеня тяжкості, одним з основних напрямків у профілактиці та лікуванні цих захворювань є удосконалення методів, їх диференціальної діагностики, включаючи прогнозування виникнення захворювань (Гаврилова Н. А., Хромов А. Г., Купєєв В. Г., Павлов С. В. та інші).

Для підвищення достовірності діагностики патологій очного дна при цукровому діабеті з врахуванням обмежень на оперативність та якість використовують комплекс геометричних характеристик об'єктів. Однак, вимірювання та об'єктивне оцінювання цих показників викликає певні труднощі, пов'язані з нечіткістю та зашумленістю біомедичного зображення очного дна як офтальмологічного та флюоресцентно-ангіографічного. Найбільш вдало в даний час виділяється центральна лінія судин сітківки (ЦЛСС) ока (Ільясова І. Ю., Корепанов А. О., Павлов С. В., Купріянов А. В. та інші).

Для подолання цих обмежень необхідні методи, що дозволяють визначити морфізм ознакового простору для класифікації складних зображень. В той же час, аналіз тільки геометричних характеристик зображень сітківки ока не може дати однозначного рішення по діагностиці та вибору тактики лікування. Інтерпретація отриманих зображень потребує складних методів їх обробки, які підвищують візуальну інтерпретацію і аналіз методами, що забезпечують автоматичне або напівавтоматичне виявлення патології очного дна. Виділення ознак та класифікація патологій виконується послідовно, але це вимагає параметрів зворотного зв'язку, тому обробка зображень включає в себе ряд ітераційних циклів. Тому необхідні методи і алгоритми, що дозволяють інтегрувати початкові рішення за різними даними у фінальне рішення на виході комп'ютерної системи.

Таким чином, актуальним науково-технічним завданням дослідження є підвищення якості діагностики патологій очного дна при цукровому діабеті на основі об'єктивного аналізу і кількісної оцінки геометричної форми об'єктів біомедичних зображень очного дна. Розробка нових методів та комп'ютерних засобів діагностики структур очного дна при цукровому діабеті є завданням перспективним і актуальним.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами. Проблема, вирішенню якої присвячена дисертація, випливає із задач у сфері науки та технологій відповідно до Закону України №2623-III від 11 липня 2001 року «Про пріоритетні напрямки розвитку науки та техніки». Науковою базою дисертації стали результати, отримані в процесі виконання науково-дослідних робіт, що проводились відповідно до плану наукових досліджень Вінницького національного технічного університету і Міністерства освіти і науки України за держбюджетними темами «Оптико-електронний квантово-розмірний образний комп'ютер око-процесорного типу: концепції, методологія, база знань» (№ держреєстрації 0105U002434), «Оптико-електронні паралельні логіко-часові інформаційно-енергетичні середовища на базі образних комп'ютерів» (№ держреєстрації 0108U000662), «Розподілені ієрархічні оптико-електронні паралельні логіко-часові інформаційно-енергетичні середовища» (№ держреєстрації 0111U001104).

Мета і задачі дослідження. Метою дисертаційного дослідження є підвищення достовірності аналізу біомедичних даних шляхом створення методу діагностики на основі кількісної оцінки геометричної форми об'єктів і системи діагностування патологій очного дна при цукровому діабеті.

Відповідно до сформульованої мети вирішуватимуться наступні задачі:

- провести аналіз відомих сучасних оптико-електронних систем, методів і засобів аналізу та оброблення біомедичних зображень;
- удосконалити метод оброблення патологій очного дна при цукровому діабеті;
- розробити метод обчислення зони патології очного дна та обчислення її площі;
- розробити модель нечіткої кластеризації патологій очного дна при цукровому діабеті;
- розробити систему розпізнавання зображень патологій очного дна при цукровому діабеті;
- розробити методику проведення експериментальних досліджень системи розпізнавання зображень патологій очного дна при цукровому діабеті та обрати апаратну архітектуру для неї.

Об'єктом дослідження процес розпізнавання патологій очного дна при цукровому діабеті комп'ютерною системою.

Предметом дослідження методи і комп'ютерні засоби для розпізнавання патологій очного дна.

Методи дослідження. Для вирішення поставлених задач використано методи цифрового оброблення сигналів та зображень для їх попереднього оброблення, теорію комп'ютерних систем та мереж при моделюванні процесів кластеризації та розпізнавання зображень, методи програмування на мовах високого та низького рівнів при програмуванні графічних адаптерів GPU, морфологічної сегментації при розробці математичних моделей, математичного та комп’ютерного моделювання для проведення експериментальних досліджень.

Наукова новизна одержаних результатів.

1. Удосконалено метод обробки біомедичних зображень на основі спектра просторової зв’язності за рахунок використання математичного апарату морфологічної сегментації та введення псевдокута кольоровості, що дозволило знизити чутливість до деформацій, які внесені формуванням зображення та його шумами.

2. Вперше розроблено математичну модель обчислення зони патології із застосуванням вибору оптимальних геометричних фігур для оконтуреного об’єкту. За рахунок введення нормованого критерію, який визначений експериментальним шляхом і повинен бути рівний або більшим за значення 0,85, обрано алгоритм оптимізації геометричних фігур, що визначають площу зони патології.

3. Отримав подальший розвиток метод оптимальної кластеризації патологій очного дна за рахунок використання нормування, яке дає нетиповість за сукупністю всіх чинників з рівною вагою, що дозволило визначити експериментально кількість кластерів 8, а параметр зупинки процесу кластеризації 0,5.

4. Отримала подальший розвиток система кластеризації зображень очного дна, яка використовує фазову кореляцію зображень, що дозволила більш достовірно розпізнавати зображення очного дна, а саме на 23,8 %.

Практичне значення отриманих результатів

1. Розроблено алгоритмічне і програмно-апаратне забезпечення для розпізнавання біомедичних зображень патологій очного дна, яке побудовано на основі спектра просторової зв’язності очного дна з використанням математичного апарату морфологічної сегментації та введенням псевдокута кольоровості, що дозволяє ефективно розпізнавати і кластеризувати зображення.

2. За результатами теоретичних та практичних досліджень сформовано методику проведення експериментальних досліджень патологій очного дна.

3. На базі розробленої методики проведення експериментальних досліджень обрано апаратну архітектуру для розробленої системи розпізнавання.

Результати дисертаційної роботи впроваджено у Вінницькій обласній державній адміністрації під час підготовки проекту рішення сесії обласної Ради та при розробці обласних програм у сфері охорони здоров’я, що дозволило підвищити достовірність оброблення біомедичних зображень шляхом застосування сучасних методів обробки (акт від 10.04.2015). Алгоритмічне і програмно-апаратне забезпечення впроваджено у Вінницькій обласній дитячій клінічній лікарні і використовуються з метою покращення системи діагностики судинних патологій очного дна у дітей в офтальмологічному відділенні. Впровадження підтверджуються відповідними актами.

Особистий внесок здобувача. Усі дослідження, представлені в дисертації, проведені дисертантом особисто. У працях опублікованих в співавторстві, особистий внесок здобувача полягає в такому: ідея перетворення вхідного оптичного зображення, за рахунок чого збільшується швидкість оброблення інформації [1]; розглянуто використання відеографічних технологій при обробці біомедичних зображень та запропонувала оптимальну [2]; класифікація захворювань очного дна при цукровому діабеті, а також запропоновано структурну схему і алгоритм обробки зображень очного дна, що покращило достовірність роботи в порівнянні з існуючими [3]; вдосконалено математичну модель W-спектра зв’язаності за рахунок введення в нього псевдокута кольоровості [4]; методика і відповідна комп’ютерна система для розпізнавання патологій очного дна при цукровому діабеті [5]; проаналізовано існуючі структури нейронних мереж [6]; заміна процесора на сигнальний процесор у існуючого пристрою для розпізнавання, за рахунок чого підвищено його точність роботи [7, 9, 10]; вдосконалено математичну модель обробки патологій очного дна, що дало покращення у визначенні патології на 23,8% в порівнянні з моделлю в якій не внесено дані покращення [8]; ідея перетворення вхідного оптичного зображення і виділення групи рівних за величиною оцифрованих сигналів, які записують і запам’ятовують за певною адресою, за рахунок чого збільшується швидкість оброблення інформації і зменшуються витрати запам’ятовувального пристрою при апаратній реалізації способу запису зображень [11]; систематизовано існуючі методи комп’ютерного розпізнавання зображень [12].

Апробація результатів дисертації. Теоретичні та практичні результати роботи доповідались та обговорювалися на міжнародних та регіональних науково-практичних конференціях: V International Conference on Optoelectronic Information Technologies "PHOTONICS - ODS 2010" (м. Вінниця, 2010 р.); XL регіональна науково-технічна конференція професорсько-викладацького складу, співробітників та студентів університету (Вінниця, 2011 р.); VII International Conference on Optoelectronic Information Technologies "PHOTONICS - ODS 2015" (м. Вінниця, 2015 р.).

Публікації. На тему дисертаційної роботи опубліковано 12 праць, з них 1 монографія, 7 статей, які входять до переліку наукових фахових видань, з них 7 статей входять до науко-метричних баз даних, 3 – у матеріалах і тезах доповідей міжнародних та регіональних науково-технічних конференцій, отримано 1 патент України на корисну модель.

Структура та обсяг роботи. Дисертаційна робота складається із вступу, чотирьох розділів, висновків, списку використаних джерел (173 найменування) і 2 додатків. Загальний обсяг дисертації складає 140 сторінок. Основний текст складає 126 сторінок. Робота містить 68 рисунків і 17 таблиць.

ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

У вступі обґрунтовано актуальність теми дисертаційного дослідження та приведено вихідні теоретичні положення. Формулюється мета та завдання дослідження, а також наукова та практична цінність роботи.

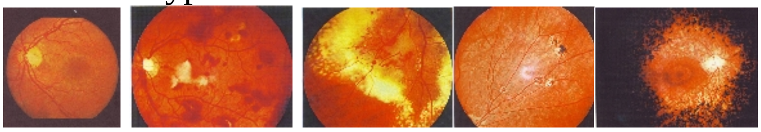
У першому розділі проведено аналіз методів і оптико-електронних систем аналізу розпізнавання біомедичних зображень. Основна проблема, що виникає при обробленні біомедичних зображень – це підвищення якості вхідного зображення, виділення фрагментів заданого класу від усієї сукупності елементів зображень, визначення їх геометричних характеристик. Виділення судин на зображеннях очного дна є достатньо складним завданням оброблення, оскільки ці зображення характеризуються досить високим рівнем шуму, нерівномірністю освітленості, а також об’єктами, що схожі на судини. Серед методів виявлення судин на зображеннях очного дна можна виділити наступні класи (табл. 1).

Таблиця 1 – Порівняльна характеристика методів комп’ютерного розпізнавання зображень патологій очного дна та їх класифікації

Клас методів	Короткий опис	Переваги методів	Недоліки методів
Методи, що використовують згортку із двовимірним направленим фільтром та подальше знаходження піків відгуків.	Для сегментації судинної системи запропоновано двовимірний лінійний фільтр, профілем якого є гаусіан.	Перевагою даного підходу є стійке знаходження прямо лінійних ділянок судин і обчислення їх ширини.	Досить погане детектування тонких та звивистих судин, можливі помилкові спрацьовування на об’єкти, що не є судинами.
Методи, що використовують детектування хребтів.	Проводиться знаходження примітивів – коротких відрізків, що лежать посередині ліній, потім вони відбираються, що відповідають судинам, по яких відновлюється судинне дерево.	Використання перспективних нейромережних технологій.	Необхідність коригування помилки навчання та похибки при відновленні судинного дерева.
Методи, що використовують трекінг судин.	Процедура включає як з’єднання судин по парі точок, так і продовження судин.	Перевагою є висока точність роботи на тонких судинах і відновлення розривних судин.	Недоліком є складність обробки галужень і перетинів судин
Методи, що використовують попіксельну класифікацію.	Попіксельна класифікація заснована на методі машинного навчання. Для кожного пікселя будується вектор ознак.	Для навчання використовуються зображення очного дна з розміченими на ньому експертом судинами.	До недоліків методу можна віднести велику розбіжність у висновках експертів.

Зображення нормального очного дна та деяких патологій представлені на рис. 1.

Проведений аналіз науково-технічної та медичної літератури показав, що найбільш інформативним та доцільним для діагностики патологій очного дна є метод фотореєстрації за допомогою фундус-камери. Виконано аналіз методів виділення зони патології та обчислення її площі, в результаті чого встановлено, що для отримання повної інформації про зображення необхідно визначити характеристики (параметри) об’єктів зображення: форму, структуру і вміст об’єкта, характеристики текстур і ін.



а) б) в) г) д)

Рисунок 1 – Зображення очного дна та деяких патологій: а – зображення нормального очного дна; б-д – зображення патологій очного дна

У другому розділі розроблено метод розпізнавання зображень патологій очного дна. З метою зниження чутливості до деформацій, внесених формуванням зображення і його шуму, в дисертаційній роботі пропонується метод подання багатоградаційного зображення узагальненим *W* - спектром просторової зв’язності і на його основі запропоновано завадостійкі алгоритми порівняння зображень. Суть розкладання зображення в узагальнений *W*-спектр зв’язності полягає в розбивці його за встановленим правилом на певні області, підрахунку суми величин відліків зображення за вісьмома напрямками зв’язності (часткової *W*-суми зв’язності) у межах кожної області і віднесення кожної із часткових *W*-сум до координат геометричного центру відповідної області. Спектр зв’язності *W* зображення (його фрагмента) розмірністю $m_x m_y$ визначений як

$$\mathrm{W}_{\Sigma\,x,y} = \sum_{v}^{8} \sum_{i,j}^{m_x m_y} a_{i,j}^{v}, \qquad (1)$$

де $a_{i,j}^{v}$ - одиничний елемент зображення (його фрагмента) із координатами i, j, і зв’язністю v.

Людина розрізняє чотири основні колірні тони, причому край сектора основного сприймається як контрастний перехід. Зміна на 20° впливає на сприйняття кольору, тобто для відчутної зміни кут повинен змінюватися у межах діапазону -20 – +20. Тому за сектор із слабкоконтрасним переходом можна прийняти 1/8 від колірного кола.

За додаткову умову зв’язності пікселів можна покласти різницю в тоні не більше, ніж $\frac{\pi}{4}$. Використаємо математичний апарат морфологічної сегментації. Із зменшенням насиченості кольору кут сприйняття близького кольору зростає, тому для аналізу має сенс ввести псевдокут кольоровості

$$\alpha = H \cdot \frac{C}{C_{\max}}, \qquad (2)$$

де α – псевдокут; H – колір; C_{max} – максимальна зміна насиченості; C – насиченість.

В результаті умову зв’язності пікселя можна визначити таким чином

$$\mathrm{W}_{\Sigma\,x,y} = 4 \cdot 3 + 2\left[\left(m_x + m_y\right) - 4\right] \cdot 5 + \left(m_x - 2\right)\left(m_y - 2\right) \cdot 8,$$

$$m_x m_y \geq 2, \quad I_{x+1,y} \geq I_{x,y}, \ \left|\alpha_{x+1,y} - \alpha_{x,y}\right| \leq \frac{\pi}{4}, \qquad (3)$$

де $I_{x+1,y}$ – яскравість сусіднього пікселя; $I_{x,y}$ – яскравість поточного пікселя; $\left|\alpha_{x+1,y} - \alpha_{x,y}\right|$ – різниця псевдокута між пікселями.

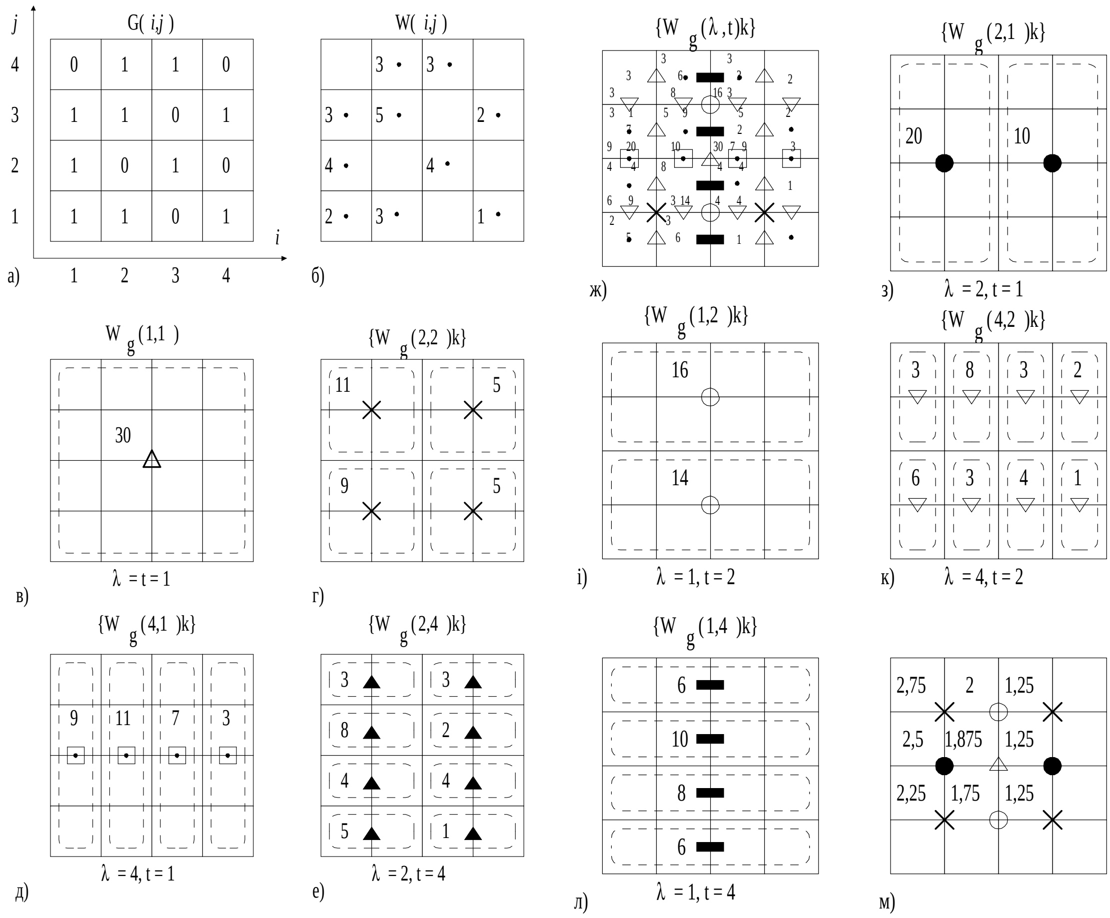


Рисунок 2 – Приклад бінарного зображення та його W - перетворення

Розробка математичної моделі вимірювання зони патології та обчислення її площі. Відомо, що існує два способи обчислення геометричних характеристик: традиційний і контурний. Це пов’язано з тим, що піксель має лінійні розміри, а обчислення геометричних характеристик виконується за вузловими точками. При традиційному способі ця точка знаходиться в центрі пікселя і має розмір, рівний його площі; при виконанні контурного обчислення характеристик оперують лінійними розмірами між точками, які лежать на його кутах. Таким чином, при контурному способі обчислення вертикальна і горизонтальна відстані між точками дорівнюють лінійним розмірам пікселя, діагональне визначається за теоремою Піфагора і у разі рівності цих характеристик кратно $\sqrt{2}$. Оскільки вхідне біомедичне зображення очного дна попередньо препароване і початкові дані виділені контуром, то виконуватимемо контурне обчислення характеристик зони патології. Розробимо математичні моделі вимірювання зони патології та обчислення її площі. Для цього обиратимемо оптимальні геометричні фігури для оконтуреного об’єкту. Сформуємо матрицю площ для кожного виділеного елемента i:

$$M_i = \sum_{k=1}^{n} S_k \,, \qquad (4)$$

де n – кількість геометричних фігур, n = 3 (трикутник, коло, квадрат); S_k – площа кожного *i*-го виділеного елемента. Далі необхідно знайти міру подібності *i*-ї виділеної та кожної з *k* фігур. Відомо, що більшість методів розпізнавання використовують локальну інформацію текстури зображень. Зазвичай в таких методах досліджуються знаки згорток інтенсивності областей зображення з обраним набором функцій. Так само існують методи, що ґрунтуються на інформації про зображення в цілому. Відомо, що фаза зображення несе в собі значно більше інформації, ніж його спектр. Одним з методів, що опираються на цей факт, є метод фазової кореляції зображень, що використовує тільки інформацію про фазу, називається POC (Phase-only correlation). У фазовому методі для пари зображень досліджується поведінка різниці фаз цих зображень і показано, що цей параметр характеризує міру подібності зображень. Отже, в подальшому для знаходження використовуватимемо таку характеристику, як кореляція.

Знайдемо оптимальне значення коефіцієнту кореляції для *i*-ї виділеної та кожної з *k* фігур.

$$\rho_{\text{опт.}} = \max(\rho_i),\ \rho_{\text{опт.}} \geq 0{,}85\,, \qquad (5)$$

де ρ_i – коефіцієнт кореляції для кожної з виділених областей. Отже, розроблено математичну модель вимірювання зони патології та обчислення її площі, яка при правильному виборі масштабування дає менші похибки вимірювання у порівнянні з похибками, що виникають в результаті оптичних спотворень зображення. За рахунок введення нормованого критерію $\rho_{\text{опт.}} \geq 0{,}85$ отримано оптимальний вибір геометричної фігури, що визначає площу зони патології.

Розробка моделі кластеризації зображень очного дна на основі нечіткої кластеризації c-means. Із проведеного аналізу методів комп’ютерного розпізнавання зображень патологій очного дна та їх кластеризації і класифікаційного аналізу клінічних проявів судинних захворювань очного дна при цукровому діабеті видно, що для кластеризації зображень очного дна необхідно вирішити два завдання:

- виділити *c* груп об’єктів очного дна;

- описати характерні особливості кожного оконтуреного об’єкту зображення (масив координат, яскравість, колір, ширина судин, кути відгалуження судин). Також відомо, що діагностування очних хвороб має імовірнісний характер, тобто, за сукупністю ознак патологію можна віднести до одного чи іншого кластеру хвороб. Тут доцільно використати математичний апарат нечіткої логіки. Кластерний аналіз – задача розбиття певної множини об’єктів на групи, що називаються кластерами так, щоб кожен з них складався із схожих об’єктів, а об’єкти різних кластерів істотно відрізнялися. Тому будемо використовувати метод нечіткої кластеризації *c-means*. Відмінною особливістю даного методу є той факт, що кожен об’єкт може відноситися до кожного кластера з певним ступенем належності. Для аналізу будуть вибрані всі оконтурені об’єкти, в якості характеристик виступають особливості цих зображень (масив координат, яскравість, колір, ширина судин, кути відгалуження судин). Як результат будуть отримані кластери захворювань. Отже, визначимо навчальну множину $M = (m_j)_{j=1}^{c}$. Нехай d – це кількість векторів даних. Матриця A визначає спосіб обчислення відстані. Наприклад, для одиничної матриці використовуватимемо Евклідову відстань. Загальний алгоритм методу виглядає таким чином.

1. Обрати кількість кластерів $2 \le c \le d$.
2. Обрати скалярну метрику для відображення векторів на дійсну вісь.
3. Обрати параметр зупинки δ.
4. Обрати коефіцієнт нечіткості $w \in (1, \infty)$.
5. Ініціалізувати матрицю розбиття *U*.
6. Обчислити прототипи центри кластерів за формулою

$$c_i^{(i)} = \frac{\sum_{j=1}^{d} \left(u_{ij}^{(l-1)}\right)^w \cdot m_j}{\sum_{j=1}^{d} \left(u_{ij}^{(l-1)}\right)^w}, \ 1 \le i \le c. \tag{6}$$

7. Для всіх елементів даних вирахувати квадрати відстаней до всіх центрів кластерів за формулою

$$d_A^2\left(m_j, c^{(i)}\right) = \left(m_j - c^{(i)}\right)^t \cdot A\left(m_j - c^{(i)}\right). \tag{7}$$

8. Відновити матрицю розбиття за формулою

$$u_{ij}^{(l)} = \frac{1}{\sum_{k=1}^{c} \left(\frac{d_A^2\left(m_j, c^{(i)}\right)}{d_A^2\left(m_j, c^{(k)}\right)} \right)^{\frac{1}{w-1}}}, \tag{8}$$

для всіх $1 \le i \le c, 1 \le j \le d$.

9. Перевірити умову:

$$\left\| U^{(l)} - U^{(l-1)} \right\| < \delta. \tag{9}$$

Якщо умова (10) виконується, завершити процес, якщо ні – перейти до кроку 6 з номером ітерації $l = l + 1$. Цільова функція визначається за формулою

$$J(M, U, C) = \sum_{i=1}^{c} \sum_{j=1}^{d} u_{ij} d_A^2\left(m_j, c^{(i)}\right), \tag{10}$$

набір обмежень – за формулою

$$u_{ij} \in (0,1); \quad \sum_{i=1}^{c} u_{ij} = 1; \quad 0 < \sum_{i=1}^{d} u_{ij} < d. \tag{11}$$

Отже, визначимо кількість кластерів $c = 8$, параметр зупинки $\delta = 0{,}5$. Коефіцієнт нечіткості w встановлюється експериментальним шляхом для підбору оптимального варіанту кластеризації очних патологій. При оцінці характерних особливостей кожного оконтуреного об’єкту зображення розділення йде за найбільшими числами (що дає найбільшу похибку в Евклідову відстань). Для зменшення похибки використаємо нормування. Це дасть нетиповість за сукупністю всіх чинників з рівною вагою, що необхідно для оптимальної кластеризації судинних патологій очного дна.

Порівняльний аналіз ефективності моделі розпізнавання зображень очного дна. Важливим показником, який впливає на вибір алгоритму розпізнавання, є показник якості його роботи. Він визначається точністю визначення контурів об’єктів на зображеннях очного дна. Таким комплексним показником може служити критерій середньоквадратичної помилки у сукупності із критерієм мінімуму емпіричної відстані між ідеальним (еталонним) контурним зображенням і контурами, отриманими в результаті вдосконалення методу багатоградаційного зображення узагальненим W – спектром просторової зв’язаності за допомогою методу морфологічної сегментації. В результаті сегментації виникають помилки двох типів: на сегментованому зображенні точка відмічена як контурна, а на ідеальному контурному зображенні вона не відноситься до контуру; на сегментованому зображенні точка не відмічена як контурна, але вона є такою на ідеальному контурному зображенні. Тому, при оцінці якості сегментації зображень оберемо два критерії:

- критерій, який вказує ступінь схожості сегментованого і ідеального контурного зображень (FOM);
- критерій, що вказує ступінь їх відмінності (RMS).

Критерій FOM (Figure of Merit) відповідає емпіричній відстані між ідеальним контурним зображенням, представленим у вигляді контурів та контурами, отриманими в результаті сегментації g:

$$FOM(f,g)=\frac{1}{\max\{card(f),card(g)\}}\cdot\sum_{i=1}^{card(g)}\frac{1}{1+d^2(i)}, \qquad (12)$$

де $card(f)$ - кількість пікселів у множині *f*; $card(g)$ - кількість пікселів у множині g; $d(i)$ - відстань між *i*-м пікселем f та найближчим до нього пікселем в g.

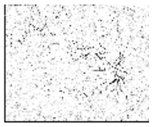
Критерій RMS (Root mean squared error) є середньоквадратичною помилкою, що визначається виразом:

$$RMS(f,g)=\left[\frac{1}{card(X)}\cdot\sum_{x\in X}\left(f(x)-g(x)\right)^2\right]^{\frac{1}{2}}, \qquad (13)$$

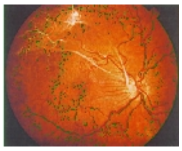
де $f(x), g(x)$ - інтенсивність пікселів x у f_i та g_i, X – множина пікселів, що сегментується.

Для оцінювання якості розробленого методу проводилося його порівняння з відомими методами: Робертса, Превітта, Собела і Канні. Для моделювання роботи використовувалося середовище Delphi. В якості тестових зображень та ідеальних контурних зображень (заданих експертами) використовувалося 500 зображень. Приклад тестового зображення (а), ідеального контурного зображення (б) і результати сегментації розробленим алгоритмом (в), операторами Робертса (г), Превітта (д), Собела (е) і Канні (ж) приведено на рис. 3.

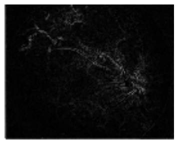
а)



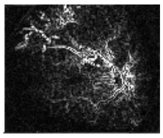
б)



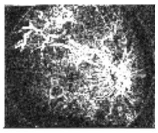
в)
FOM=0,46;
RMS=0,095



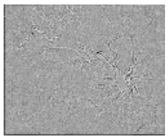
г)
FOM=0,32
RMS=0,12



д)
FOM=0,25;
RMS=0,14



е)
FOM=0,25;
RMS=0,14



ж)
FOM=0,11
RMS=0,25

Рисунок 3 – Приклад сегментації зображення різними методами

Із приведених на рис. 3 даних випливає, що розроблений метод забезпечує найбільш точне виділення контурів, у порівнянні з відомими методами, що підтверджується візуальним аналізом отриманих зображень і обчисленими критеріями FOM і RMS .

У таблиці 2 приведено усереднені оцінки критеріїв FOM і RMS, отримані для 500 зображень, для розробленого і відомих методів сегментації.

Таблиця 2 - Усереднені оцінки критеріїв FOM і RMS

Критерій	**Розроблений метод**	Оператор Роберта	Оператор Собела	Метод Кірша	Оператор Уолліса
FOM	**0,2504**	0,2380	0,2073	0,1902	0,2071
RMS	**0,2465**	0,2225	0,2459	0,3385	0,2451

Аналіз отриманих результатів показує, що розроблений метод сегментації за критерієм FOM перевищує відомі методи на 5-25%, а за критерієм RMS – поступається операторам Робертса, Уолліса і Собела, а також методу Кірша. Таким чином, даний метод простий у реалізації, вимагає невеликих обчислювальних витраті за точністю визначення контурів об’єктів на зображеннях практично не поступається відомим: Робертса, Уолліса, Собела і Кірша.

У третьому розділі проведено розробку методу, алгоритму, структури, системи та програмно-апаратного засобу для розпізнавання зображень очного дна.

Розробка системи для розпізнавання патологій очного дна при цукровому діабеті. Система для розпізнавання патологій очного дна при цукровому діабеті (рис. 4) складається із двох елементів: комп’ютера та фундус-камери і працює наступним чином. Отримане за допомогою фундус-камери або будь-якого зовнішнього пристрою отримання зображення очного дна (ЗПОЗОД) вхідне зображення потрапляє до пристрою обробки, який складається з наступних блоків: блок покращення якості зображень (БПЯ), блок аналізу зображень (БА), блок даних (БД) та бази експериментів.

Оцінювання достовірності методу та системи для розпізнавання патологій очного дна при цукровому діабеті. Оскільки система при роботі проводить діагностування за зображеннями, дослідження достовірності проведене за наступним алгоритмом:

1. Для проведення дослідження було залучено k=500 зображень судинних патологій очного дна при цукровому діабеті, зокрема з них k_1=70 було виділено як ті, що не мають наявних патологій та k_2=430 з верифікованими патологіями очного дна.

2. Проведена обробка кожного із зображень за допомогою розробленої системи до внесення вдосконалень, кількість тестів для кожного складала N=100. Діагноз $y^*_{i,j}$, отриманий при роботі системи оцінки стану патологій очного дна вважається правильним ($y^*_{i,j}=1$), якщо співпадає з медичним діагнозом експертів. Обчислена достовірність роботи системи для кожного із зображень

$$y^*_i = \frac{\sum_{j=1}^{N} y^*_{i,j}}{N}. \tag{15}$$

3. Обчислена середня достовірність роботи системи y при обробці всіх 500 зображень

$$y^* = \frac{\sum_{i=1}^{k} y^*_i}{k}. \tag{16}$$

4. Пункти 1, 2 та 3 проведено для розробленої системи і в результаті була обчислена достовірність цієї системи y.

5. Обчислено достовірність роботи системи, яка існувала раніше та розробленої, надалі проводилось їх порівняння.

Аналогічним чином отримано результати для всіх інших 499 зображень для системи із розробленими вдосконаленнями і без них, за якими була обчислена достовірність роботи для кожного зображення за формулою (15).

На основі цих даних обчислено середні достовірності роботи системи за формулою 16.

В результаті оцінки достовірності системи аналізу структурних змін для діагностики патологій очного дна без внесення в неї вдосконалень складає 0,729, а достовірність системи із внесенням в неї вдосконалень складає 0,967. Достовірність системи збільшилась на 23,8 %.

У четвертому розділі проведено експериментальні дослідження розпізнавання зображень очного дна. База даних містила більш ніж 500 зображень, отриманих за допомогою фундус-камери VISUCAM LITE виробництва ZEISS (Німеччина).

Розробка структурної схеми комп’ютерної системи. Програмне забезпечення реалізовано у DELPHI фірми Borland. Даний продукт (рис. 5) призначений для визначення місцезнаходження зони патології та обчислення її площі, а також кластеризації та діагностування патологій очного дна.

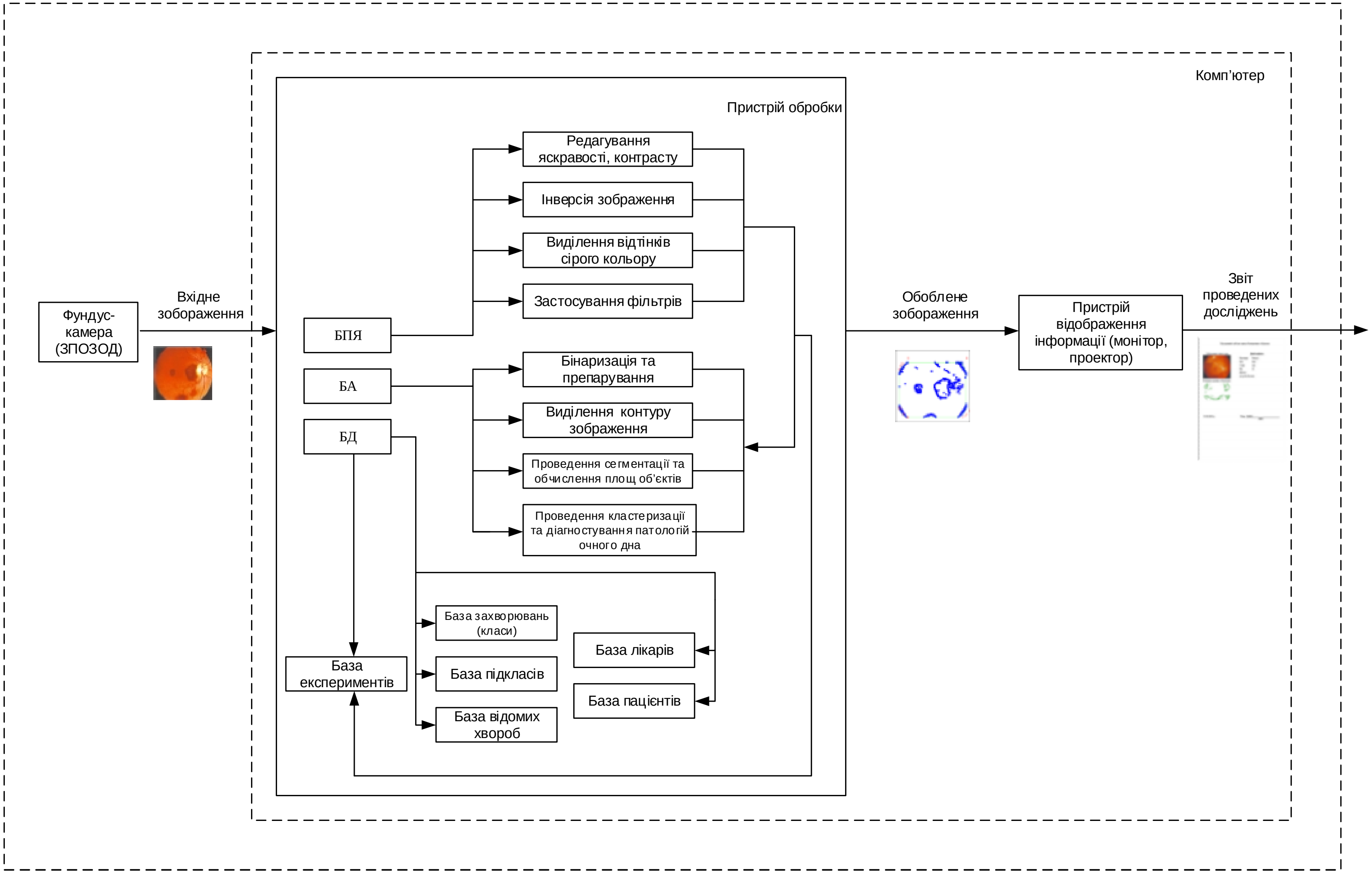


Рисунок 4 – Система для розпізнавання патологій очного дна при цукровому діабеті

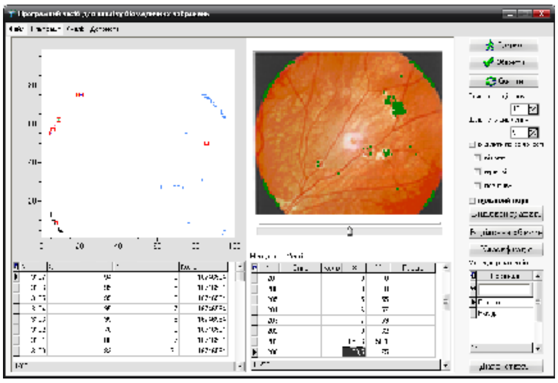
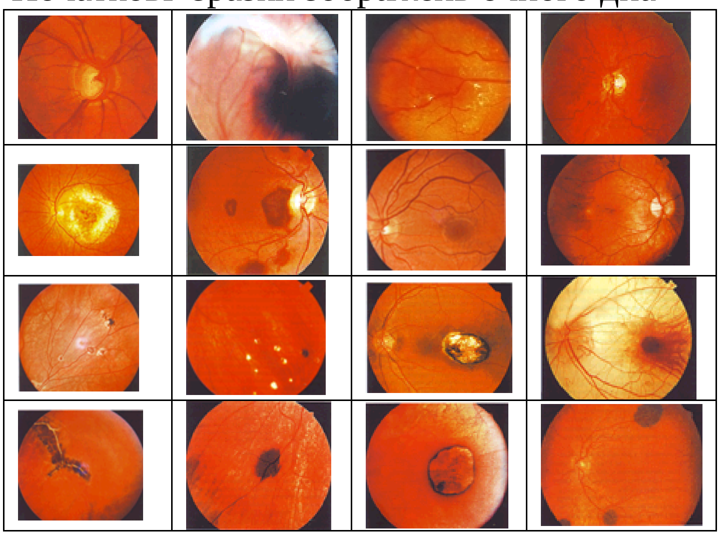


Рисунок 5 – Розроблений програмний продукт

Результати експериментальних досліджень визначення місцезнаходження зони патології та обчислення її площі. У табл. 3 представлено початкові зразки зображень очного дна.

Таблиця 3 – Початкові зразки зображень очного дна

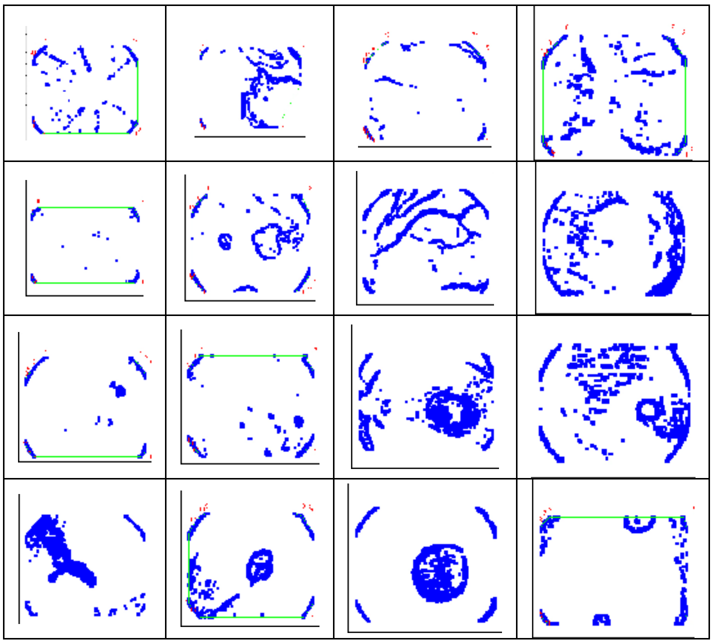


Провівши ідентифікацію усіх виділених об’єктів на предмет наявності патології та визначивши їх площу, приведемо картини визначення загальної площі зображення очного дна (табл. 4). Результати визначення параметрів об’єктів вхідного зображення №10 приведено у табл. 5.

Результати експериментальних досліджень кластеризації патологій очного дна. Після виділення об’єктів зображень, отримання контурних картин зображення очного дна (ККЗОД), визначення місцезнаходження та обчислення площі патологій, необхідно провести кластеризацію та діагностування. В офтальмологічній практиці клінічними проявами патологій вважаються наступні параметри:

- розташування об’єкта (пост екваторіально, екваторіально, в області диска зорового нерва тощо);
- колір (чорний, безпігментний, рожевий тощо);
- розмір (діаметр, висота тощо).

Таблиця 4 – Картини визначення загальної площі зображення очного дна



Таблиця 5 – Результати визначення параметрів об'єктів вхідного зображення

Об'єкт	X	Y	Площа, мм^2
1	2	3	4
1	46	25	28,4
2	48	15	5,5
3	63	7	10,7
4	66	22	19,3
5	72	13	19,6
6	77	9	3,1
7	87	23	26,4
Загальна площа, мм^2			**113,0**

Із табл. 5 побудуємо таблицю даних для кластерного аналізу патологій (табл. 6).

Таблиця 6 – Вхідні дані для кластерного аналізу патологій

Об'єкт	Розташування об'єкту	Колір	Розмір, мм
1	екваторіально	Жовтий	6,0
2	пост екваторіально	Білий	2,6
3	пост екваторіально	Білий	3,7
4	пост екваторіально	Білий	4,9
5	пост екваторіально	Жовтий	4,9
6	пост екваторіально	Жовтий	1,9
7	пост екваторіально	Чорний	5,8

Для зменшення похибки вимірювань використаємо нормування, яке дає нетиповість за сукупністю всіх чинників з рівною вагою, що необхідно для оптимальної кластеризації патологій (табл. 7).

Таблиця 7 – Нормовані дані для кластерного аналізу патологій

Об'єкт	Розташування об'єкту	Колір	Розмір, мм
1	1	0,39	1
2	0,6	0,01	0,43
3	0,28	0,01	0,62
4	0,88	0,01	0,82
5	0,52	0,01	0,82
6	0,36	0,01	0,32
7	0,92	0,99	0,97

Приведемо результати визначення кластеризації при вимірюванні Евклідової відстані за методом: гнучкої стратегії (табл. 8)

Оцінка ефективності вирішальних правил діагностики. У практиці оцінки ефективності вирішальних правил діагностики застосовують не лише показник відносної частоти правильного діагнозу, який отримав назву чутливості, але і специфічність, безпомилковість, а також помилково негативних відповідей (помилки першого роду) і псевдопозитивних відповідей (помилки другого роду).

Таблиця 8 – Результати експериментальних досліджень кластеризації патології очного дна за методом гнучкої стратегії

Об’єкт 1	Об’єкт 2	Новий кластер	Відстань
1	2	3	4
2	6	8	0,2640
3	5	9	0,3124
9	8	10	0,4014
1	4	11	0,4373
11	10	12	0,6915
12	7	13	0,9942

Їх суть полягає в наступному. Чутливість – це відносна частота віднесення істинно хворого до класу хворих. Специфічність – це відносна частота віднесення істинно здорового до класу здорових. Безпомилковість – це відносна частота ухвалення безпомилкових рішень, як по відношенню до істинно хворих, так і істинно здорових. Псевдонегативна відповідь (помилка першого роду) – це відносна частота віднесення істинно хворого до класу здорових. Псевдопозитивна відповідь (помилка другого роду) – це відносна частота віднесення істинно здорового до класу хворих.

Оцінимо ефективність отриманих вирішальних правил по встановленню діагнозу про наявність судинних патологій очного дна при цукровому діабеті. Для цього всі об’єкти навчальної вибірки розіб’ємо на дві групи: у першу групу віднесемо об’єкти із захворюванням 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7 груп (перші 7 кластерів розбиття існуючих судинних хвороб); у другу - об’єкти групи 8 з непідтвердженим діагнозом (кластер №8, куди занесені непідтверджені хвороби). Результати зведемо у табл. 9.

Позначимо елементи частотної таблиці рядковими буквами латинського алфавіту a, b, c, d. При зроблених позначеннях частот спостережень в таблиці 12 показників ефективності діагностики по вирішальних правилах можна визначити:

- чутливість: $\frac{100 \cdot a}{a+b} = \frac{100 \cdot 442}{448} = 98{,}7\%$;
- специфічність : $\frac{100 \cdot d}{c+d} = \frac{100 \cdot 50}{52} = 96{,}2\%$;
- безпомилковість: $\frac{100 \cdot (a+d)}{a+b+c+d} = \frac{100 \cdot (442+50)}{500} = 98{,}8\%$;

- псевдонегативна відповідь (помилка першого роду): $\frac{100 \cdot b}{a+b} = \frac{100 \cdot 6}{448} = 1{,}3\%$;

- псевдопозитивна відповідь (помилка другого роду): $\frac{100 \cdot c}{c+d} = \frac{100 \cdot 2}{52} = 3{,}8\%$.

Таблиця 9 – Частотна таблиця для двох груп, що діагностуються (перша – захворювання 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7; друга - непідтверджені захворювання 8)

Групи об'єктів навчальної вибірки	Результати класифікації за вирішальними правилами				Всього об'єктів	
	віднесені до першої групи. (1, 2, 3, 4, 5, 6, 7)		віднесені до другої групи (8)			
Перша (1, 2, 3, 4, 5, 6, 7)	a	442	b	6	a+b	448
Друга (8)	c	2	d	50	c+d	52
Всього	a + c	444	b + d	56	a+b+c+d	500

На основі проведених розрахунків за вирішальними правилами діагностики слід визнати досить ефективними показники помилково негативних відповідей (помилки першого роду) і псевдопозитивних відповідей (помилки другого роду). Об'єкти з дійсним захворюванням виявлені на 98,7%. Помилки віднесення об'єктів з дійсним захворюванням до групи з непідтвердженим захворюванням можливі з вірогідністю 1,3%, а навпаки – 3,8%. Всі об'єкти, що не мають захворювання патології очного дна, віднесені до 8-ї групи. Безпомилковість діагностики дуже висока 98,8%. Тільки для 1,2% об'єктів навчальної вибірки поставлений помилковий діагноз.

Для оцінювання якості роботи методу використовується критерій розкиду, що показує суму відстаней від об'єктів до центрів кластерів із відповідними ступенями приналежності

$$J = \sum_{i=1}^{c} \sum_{j=1}^{n} \left(m_{ij}\right)^{w} dist\left(v_i, d_j\right), \qquad (16)$$

де $dist\left(v_i, d_j\right)$ – Евклідова відстань між *j*-м об'єктом $\mathrm{d_j} = \left(d_{j1}, d_{j2}, ..., d_{jm}\right)$ та *i*-м центром кластеру $\mathrm{v_i} = \left(v_{i1}, v_{i2}, ..., v_{ic}\right)$; $w \in \left(1, \infty\right)$ – експоненціальна вага, що визначає нечіткість, розмитість кластерів;

$$V = \begin{matrix} v_{11} & v_{12} & \dots & v_{1m} \\ v_{21} & v_{22} & \dots & v_{2m} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ v_{c1} & v_{c2} & \dots & v_{cm} \end{matrix}, \qquad (18)$$

[*c*x*m*] – матриця координат центрів кластерів, елементи якої обчислюються за формулою

$$v_{ik} = \frac{\sum_{j=1}^{n} \left(m_{ij}\right)^{w} d_{jk}}{\sum_{j=1}^{n} \left(m_{ij}\right)^{w}}, \; k = \overline{1, m}. \qquad (19)$$

Завданням є знаходження матриці *M*, що мінімізує критерій *J*. Результати оцінювання якості роботи методу приведено у табл. 10.

Отже, алгоритм кластеризації показав кращий результат у порівнянні з іншими методами, середня оцінка розкиду якого склала 0,967, оскільки результат наближається до 1. Це дає можливість його використання для вирішення поставлених задач розпізнавання зображень судинних патологій очного дна при цукровому діабеті, а також адаптованість в інших предметних областях обробки і розпізнавання.

Таблиця 10 – Оцінки результатів досліджень кластеризації патології очного дна

Метод	Оцінка розкиду	Оцінка розкиду з заданою кількістю кластерів (без лінгвістичних параметрів)	Оцінки розкиду з заданою кількістю кластерів (з лінгвістичними параметрами)	Середня оцінка
Кохонена	0,639	0,831	0,841	0,770
k-means	0,645	0,742	0,802	0,729
c-means **(розроблений)**	0,964	0,969	0,967	0,967

ВИСНОВКИ

1. Проведено аналіз відомих сучасних оптико-електронних систем, методів і засобів оброблення біомедичних зображень, в результаті чого встановлено, що найбільш інформативним та доцільним для діагностики патологій очного дна є метод фотореєстрації за допомогою фундус-камери.

2. Удосконалено метод оброблення зображень судинних патологій очного дна при цукровому діабеті за рахунок використання математичного апарату морфологічної сегментації та внесення псевдокута кольоровості. Аналіз отриманих результатів показує, що розроблений метод сегментації на основі обчислення кількості інформації за критерієм, який вказує ступінь схожості сегментованого і ідеального контурного зображень перевищує відомі методи на 5-25%, а за критерієм, що вказує ступінь їх відмінності –поступається операторам Робертса, Уолліса і Собела, а також методу Канні.

3. Вперше розроблено метод вимірювання зони патології та обчислення її площі із застосуванням вибору оптимальних геометричних фігур для оконтуреного об’єкту. За рахунок введення нормованого критерію коефіцієнту кореляції для кожної виділеної *k*-ї фігури отримано оптимальний її вибір, що визначає площу зони патології при оптимальному коефіцієнті кореляції $\rho_{\text{опт.}} \geq 0{,}85$.

4. Дістала подальший розвиток модель кластеризації зображень очного дна на основі нечіткої кластеризації *c-means.* Експериментально визначена кількість кластерів $c = 8$, параметр зупинки $\delta = 0{,}5$. Коефіцієнт нечіткості *w* встановлюється також дослідно для підбору оптимального варіанту

кластеризації очних патологій. При оцінці характерних особливостей кожного оконтуреного об’єкту зображення розділення йде за найбільшими числами (що дає найбільшу похибку в Евклідову відстань). Для зменшення похибки вимірювань використано нормування, яке дає нетиповість за сукупністю всіх чинників з рівною вагою.

5. Дістала подальший розвиток система розпізнавання зображень очного дна, яка використовує фазову кореляцію зображень, що дає змогу більш якісно розпізнавати зображення очного дна. У даному методі для пари зображень досліджується поведінка різниці фаз цих зображень і показано, що цей параметр характеризує міру схожості зображень.

6. Розроблено програмні засоби та обрано апаратну архітектуру. За результатами дослідження проведено модернізацію комп’ютерної системи. Сортування результатів всередині блоку було винесене на графічну карту. За рахунок цього були зменшені вихідні масиви в декілька десятків разів (від 64 до 256 разів залежно від розмірів рангової області).

7. Розроблено методику проведення експериментальних досліджень для програмно-апаратного засобу. Проведено експериментальні дослідження визначення місцезнаходження зони патології та обчислення її площі, а також кластеризації. Середній відсоток патологій склав 13,88 %. Метод кластеризації показав кращий результат (0,967 %) у проведених дослідженнях в порівнянні з іншими відомими, що дає можливість його використання для вирішення поставлених задач розпізнавання зображень, а також його адаптованість в інших предметних областях.

ПУБЛІКАЦІЇ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

1. Спосіб ущільненого запису зображень / Л. І. Тимченко, Т. Б. Мартинюк, Л. В. Загоруйко, Т. А. Загоруйко // Оптико-електроннні інформаційно-енергетичні технології. - 2008. - № 2 (16). - С. 95-98. – ISSN 1681-7893.

2. Мартьянова Т. А. Аналітичні аспекти реалізації систем з оброблення біомедичних зображень на основі відеографічних технологій / В. П. Кожем’яко, Л. В. Загоруйко, Т. А. Мартьянова // Оптико-електронні інформаційно-енергетичні технології. - 2012. - № 2 (24). - С. 121-123. – ISSN 1681-7893.

3. Мартьянова Т. А. Обчислювальні структури для аналізу біомедичних зображень / Т. А. Мартьянова // Оптико-електроннні інформаційно-енергетичні технології. - 2013. - № 1 (25). - С. 33-38. – ISSN 1681-7893.

4. Мартьянова Т. А. Математична модель обробки патологій очного дна / В. П. Кожем’яко, Т. А. Мартьянова // Оптико-електроннні інформаційно-енергетичні технології. - 2014. - № 2 (28). - С. 81-89. – ISSN 1681-7893.

5. Методи і комп’ютерні засоби для розпізнавання патологій очного дна при цукровому діабеті / В. П. Кожем’яко, Й. Р. Салдан, Т. А. Мартьянова та інші // Вісник Вінницького політехнічного інституту. - 2015. - № 1 (118). - С. 108-116. - ISSN 1997-9266.

6. Загоруйко Т. А. Паралельно-ієрархічні структури розподіленої нейронної мережі / Л. І. Тимченко, Л. В. Загоруйко, Т. А. Загоруйко // Оптико-електронні інформаційно-енергетичні технології. –2009. – № 2 (18).- С. 207-209. – ISSN 1681-7893.

7. Пристрій з підвищеною точністю для розпізнавання плям лазерних пучків / В. П. Кожем'яко, Л. В. Загоруйко, Т. А. Загоруйко, І. А. Іванов // Оптико-електронні інформаційно-енергетичні технології. - 2010. - № 2 (20). - С. 90-91. – ISSN 1681-7893.

8. Мартьянова Т. А. Математична модель обробки патологій очного дна / В. П. Кожем'яко, Т. А. Мартьянова // Оптоелектронні інформаційні технології «Фотоніка ОДС-2015»: тези доповіді VII міжнародної науково-технічної конференції, м. Вінниця, 21-23 квітня 2015 р. - Вінниця: ВНТУ. - 2015. - С. 77. – ISBN 978-966-641-619-6.

9. Пристрій з підвищеною точністю для розпізнавання плям лазерних пучків / В. П. Кожем'яко, Т. А. Загоруйко, І. А. Іванов, Є. В. Дубінін // Оптоелектронні інформаційні технології «Фотоніка ОДС-2010»: тези доповіді V міжнародної науково-технічної конференції, м. Вінниця, 28-30 вересня 2010 р. - Вінниця: ВНТУ. - 2010. - С. 22. – ISBN 978-641-378-2.

10. Загоруйко Т. А. Пристрій з підвищеною точністю для розпізнавання плям лазерних пучків / В. П. Кожем'яко, Т. А. Загоруйко // XL регіональна науково-технічна конференція професорсько-викладацького складу, співробітників та студентів університету: матеріали конференції, м. Вінниця, 9-11 березня, 2011 р. - Вінниця: ВНТУ. - 2011. – С. 37.

11. Корреляционный анализ изображений на основе приминения метода S-препарирования / Л. И. Тимченко, Ю. Ф. Кутаев, Т. А. Загоруйко та інші. - Киев: Наукова думка. - 2009. - 156 с. – ISBN 978-966-00-0923-2.

12. Патент на корисну модель № 35530 Спосіб запису зображень / В. П. Кожем'яко, Л. І. Тимченко, Т. А. Загоруйко та інші; заявник та патентовласник Вінницький національний технічний університет. - № u200804622; заявл. 10.04.2008; опубл. 25.09.2008, Бюл. № 18. - 4 с.

АНОТАЦІЯ

Мартьянова Т. А. Метод і система для визначення судинних патологій очного дна при цукровому діабеті. – На правах рукопису.

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.11.17 – біологічні та медичні прилади і системи. – Вінницький національний технічний університет, Вінниця, 2015.

Дисертація присвячена актуальному завданню сьогодення – удосконаленню методів і комп'ютерних засобів для розпізнавання патологій очного дна при цукровому діабеті.

Удосконалено метод обробки біомедичних зображень на основі спектра просторової зв'язності, що дозволило знизити чутливість до деформацій, які внесені формуванням зображення та його шумами.

Розроблено модель обчислення зони патології із застосуванням вибору оптимальних геометричних фігур для оконтуреного об'єкту, в якій визначений нормований критерій, а також обрано алгоритм оптимізації геометричних фігур, що визначають площу зони патології.

Розроблено алгоритмічне і програмно-апаратне забезпечення для розпізнавання біомедичних зображень патологій очного дна, яке побудовано на основі спектра просторової зв'язності, що дозволяє ефективно розпізнавати і кластеризувати зображення.

На базі розробленої методики проведення експериментальних досліджень обрано апаратну архітектуру для розробленої системи розпізнавання, а також сформовано методику проведення експериментальних досліджень патологій очного дна.

Ключові слова: розпізнавання зображень, патологія очного дна, ідентифікація очних патологій, бінаризація зображень, кластеризація очних патологій, багатопроцесорні рішення.

АННОТАЦИЯ

Мартьянова Т. А. Метод и система для определения сосудистых патологий глазного дна при сахарном диабете. - На правах рукописи.

Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.11.17 - биологические и медицинские приборы и системы. - Винницкий национальный технический университет, Винница, 2015.

Диссертация посвящена актуальной задаче сегодняшнего дня - совершенствованию методов и компьютерных средств для распознавания патологий глазного дна при сахарном диабете.

Усовершенствован метод обработки биомедицинских изображений на основе спектра пространственной связности за счет использования математического аппарата морфологической сегментации и введение псевдокута цветности, что позволило снизить чувствительность к деформациям, которые внесены формированием изображения и шумами. Анализ полученных результатов показывает, что разработанный метод сегментации на основе вычисления количества информации по критерию, который указывает степень сходства сегментированного и идеального контурного изображения превышает известные методы на 5 – 25 %, а по критерию, что указывает степень их различия – уступает операторам Робертса, Уоллеса и Собела, а также метода Канни.

Разработан метод измерения зоны патологии и вычисления ее площади с применением выбора оптимальных геометрических фигур для оконтуренного объекта. За счет введения нормированного критерия коэффициента корреляции

для каждой выделенной *k*-й фигуры получено оптимальный ее выбор, определяющий площадь зоны патологии при оптимальном коэффициенте корреляции $\rho_{\text{опт.}} \geq 0{,}85$. Система кластеризации биомедицинских изображений глазного дна, которая использует фазовую корреляцию изображений, которая позволила более достоверно распознавать изображения глазного дна, а именно на 23,8%.

Разработано алгоритмическое и программно-аппаратное обеспечение для распознавания биомедицинских изображений патологий глазного дна, которое построено на основе спектра пространственной связности глазного дна с использованием математического аппарата морфологической сегментации и введением псевдокута цветности, что позволяет эффективно распознавать и кластеризовать изображения.

На базе разработанной методики проведения экспериментальных исследований избран аппаратную архитектуру для разработанной системы распознавания, а также сформирован методику проведения экспериментальных исследований патологий глазного дна. По результатам исследования проведена модернизация компьютерной системы. Сортировка результатов внутри блока был вынесен на графическую карту. За счет этого были уменьшены выходные массивы в несколько десятков раз (от 64 до 256 раз в зависимости от размеров ранговой области).

Для модели оптимальной кластеризации патологий глазного дна при проведении экспериментов стало возможным определение количества кластеров 8, а параметр остановки процесса кластеризации 0,5 за счет использования нормирования, которое дает нетипичные по совокупности всех факторов с равным весом.

Проведены экспериментальные исследования определения местоположения зоны патологии и вычисления его площади, а также кластеризации. Средний процент патологий составил 13,88%. Метод кластеризации показал лучший результат (0,967%) в проведенных исследованиях по сравнению с другими известными, что дает возможность его использования для решения поставленных задач распознавания изображений, а также его адаптация в других предметных областях.

Ключевые слова: распознавание изображений, патология глазного дна, идентификация глазных патологий, бинаризация изображений, кластеризация глазных патологий, многопроцессорные решения.

THE SUMMARY

Martyanova TA Method and System for Determining the Fundus Vascular Lesions in Diabetes. - The manuscript.

The thesis for the degree of candidate of technical sciences, specialty 05.11.17 – Biological and Medical Devices and Systems. – Vinnitsa National Technical University, Vinnitsa, 2015.

The thesis is devoted to the actual today's problem - the improvement of methods and computer tools to identification fundus pathologies under the diabetes.

There had been improved the method of processing of biomedical images, which based on the range of spatial coherence. This bring us an opportunity to reduce susceptibility to deformation, which included the formation of an image and its noise.

Also, there had been developed the model of calculations pathology zone, using selection for optimal geometric shapes of outline object. In such model we use normalized defined criteria as well as algorithm of optimization geometric shapes that define the zone area of pathology.

There had been developed algorithms and software and hardware to detect pathologies of biomedical images of the fundus, which is based on the spatial spectrum of connectivity that can effectively recognize and clustering images.

On the basis of the developed techniques of experimental studies there had been chosen hardware architecture for developed system of recognition as well as there had been formed the methodology of experimental studies of fundus pathologies.

Keywords: image recognition, fundus pathology, identification of ocular pathologies, binarization image, clustering of eye pathologies, multiprocessor solutions.

Підписано до друку 30.10.2015р. Формат 29.7×42 ¼
Наклад 100 прим. Зам. № 2015-115
Віддруковано в комп’ютерному інформаційно-видавничому центрі
Вінницького національного технічного університету.
м. Вінниця, вул. Хмельницьке шосе, 95. Тел.: 59-81-59