

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ОДЕСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Волкова Наталія Павлівна



УДК 004.93

МОДЕЛІ І МЕТОДИ СЕГМЕНТАЦІЇ СПЕКТРАЛЬНО-СТАТИСТИЧНИХ
ТЕКСТУР В СИСТЕМАХ КОМП'ЮТЕРНОГО РОЗПІЗНАВАННЯ ЗОРОВИХ
ОБРАЗІВ

Спеціальність 05.13.23 – Системи та засоби штучного інтелекту

Автореферат
дисертації на здобуття наукового ступеня
кандидата технічних наук

Одеса – 2021

Дисертацією є рукопис.

Робота виконана в Одеському національному політехнічному університеті
Міністерства освіти і науки України.

Науковий керівник доктор технічних наук, професор
Крилов Віктор Миколайович,
Одеський національний політехнічний університет,
професор кафедри прикладної математики та
інформаційних технологій

Офіційні опоненти: доктор технічних наук, професор
Литвиненко Володимир Іванович,
Херсонський національний технічний університет,
завідувач кафедри інформатики та комп'ютерних
наук

доктор технічних наук, професор
Березький Олег Миколайович,
Західноукраїнський національний університет,
завідувач кафедри комп'ютерної інженерії

Захист відбудеться 8 квітня 2021 р. о 13³⁰ на засіданні спеціалізованої вченої ради
К 41.052.08 в Одеському національному політехнічному університеті за адресою:
65044, м. Одеса, пр. Шевченка, 1, ауд. 400-А.

З дисертацією можна ознайомитися у бібліотеці Одеського національного
політехнічного університету за адресою: 65044, м. Одеса, пр. Шевченка, 1.

Автореферат розісланий 5 березня 2021 р.

Вчений секретар
спеціалізованої вченої ради



Р. О. Шапорін

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність теми. На сучасному етапі у цілому ряді прикладних областей використовуються інтелектуальні системи, однією з важливих частин яких є системи комп'ютерного розпізнавання зорових образів (СКРЗО). Прикладами таких систем є інтелектуальні діагностичні системи медичної та технічної діагностики. Однією із базових процедур СКРЗО є сегментація, метою якої є зниження об'єму оброблюваних даних, що істотно впливає на оперативність обробки зображень в СКРЗО. Змістом процедури сегментації є об'єднання даних в сегменти за одним або декількома ознаками сегментації: колір, інтенсивність, текстура. Слід відзначити, що завдання текстурної сегментації є найбільш складним в багатьох практичних застосуваннях, наприклад, при медичній експрес діагностиці дерматологічних захворювань (псоріаз, екзема, atopічний дерматит) або при технічній експрес діагностиці якості ріжучих інструментів. Якість текстурної сегментації в них впливає на достовірність діагностичних рішень в цілому.

Аналіз існуючих методів текстурної сегментації показав, що основними є детекторні та класифікаційні підходи. При детекторному підході сегментація відбувається за однією визначеною ознакою текстурного зображення, яка перетворюється на інтенсивність і в подальшому враховується при виділенні границь однорідних текстурних областей методами контурної сегментації. При цьому детекторні методи забезпечують високу оперативність обробки зображень, але якість сегментації при низькій якості зображень знижується, класифікаційні методи характеризуються невисокою оперативністю, але забезпечують високу якість сегментації при низькій якості зображень і дозволяють проводити сегментацію значно в більш широкому класі зображень і текстур. Якість сегментації визначається по збігу границі реально виділеної сегментованої однорідної текстурної області з наперед розміченою. Класифікаційні методи для забезпечення високої достовірності класифікації потребують великої навчальної вибірки, що обмежує їх застосування. Вибір певного методу сегментації залежить від моделі текстури. В роботі розглядається два основних типа текстур, що залежать від моделі текстури – статистичні і спектральні. Але на практиці, наприклад, в системах медичної та технічної діагностики зустрічається комбінований спектрально-статистичний тип текстури. В цьому випадку розглянуті методи текстурної сегментації не забезпечують необхідної для практики якості сегментації.

Для підвищення якості сегментації запропоновано використовувати векторно-різницевий підхід, при якому певна ознака текстурного зображення розраховується як векторне перетворення образів текстур на основі векторної алгебри. Для реалізації цього підходу необхідно розробити модель комбінованої спектрально-статистичної текстури, метод ідентифікації текстури на базі цієї моделі для підвищення достовірності класифікації текстур і метод перетворення отриманого образу текстури в інтенсивність.

Таким чином, в рамках даного дослідження вирішується важлива науково-практична задача підвищення якості сегментації за рахунок розробки моделі і методів сегментації спектрально-статистичних текстур в системах комп'ютерного розпізнавання зорових образів при достатній для нужд практики оперативності.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами. Дисертаційна робота виконувалася згідно з планами наукових досліджень Одеського національного політехнічного університету (ОНПУ), а саме, в межах держбюджетної науково-дослідної роботи за участю автора № 89-132 «Математичне моделювання самоорганізуючих динамічних систем» (2014 – 2018 рр.) № ДР 0114U005031.

Мета і задачі дослідження. Метою дослідження є підвищення якості сегментації зображень за рахунок розробки і дослідження моделі та методів сегментації спектрально-статистичних текстур в системах комп'ютерного розпізнавання зорових образів медичної і технічної діагностики.

Для досягнення поставленої мети вирішено такі **задачі**.

- аналіз прикладної області, існуючих моделей і методів текстурної сегментації, обґрунтований вибір напрямку наукових досліджень;
- розробка моделі комбінованої спектрально-статистичної текстури;
- розробка методу ідентифікації текстурних областей на зображеннях на основі мультифрактальних показників та ознаки спектральної текстури;
- розробка і дослідження векторно-різницевого метода сегментації спектрально-статистичних текстур;
- апробація метода текстурної сегментації в СКРЗО систем технічної та медичної діагностики.

Об'єкт дослідження – процес сегментації текстурних зображень в СКРЗО.

Предмет дослідження – моделі і методи сегментації спектрально-статистичних текстур.

Методи дослідження. Для досягнення мети під час розробки моделі спектрально-статистичних текстур застосовувалися методи математичного моделювання, векторної алгебри; під час розробки методу сегментації спектрально-статистичних текстур використовувалися методи цифрової обробки зображень та сигналів; методи спектрального та мультифрактального аналізу, математична статистика, аналіз головних компонент, дискримінантний аналіз були використані під час вдосконалення методу ідентифікації текстурних областей.

Наукова новизна одержаних результатів полягає у вирішенні науково-технічної задачі підвищення якості сегментації зображень.

1. Отримано подальший розвиток математичної моделі текстури, в якій на відміну від інших статистична текстура моделюється як випадкове поле, а спектральна – як лінійна комбінація квазігармонічних коливань, що дозволило розширити навчальні вибірки та розробити метод ідентифікації спектрально-статистичної текстури.

2. Удосконалено метод ідентифікації спектрально-статистичних текстур, який на відміну від існуючих враховує значення ознак статистичної та спектральної текстури, що дозволило підвищити достовірність класифікації спектрально-статистичної текстури.

3. Вперше розроблено векторно-різницевий метод сегментації текстур, який на відміну від інших базується на модулі різниці векторів, які описують образи зображень у просторі ознак, що дозволило підвищити якість сегментації

комбінованих текстур.

4. Отримав подальший розвиток метод ідентифікації текстур на основі мультифрактальних показників та ознаки спектральної текстури, який на відміну від існуючих враховує особливості спектральної текстури, що дозволило підвищити достовірність класифікації типів текстур і зменшити час попереднього аналізу зображень.

Практичне значення одержаних результатів полягає в розробці алгоритмів методів ідентифікації та сегментації спектрально-статистичної текстури на основі розробленої в дисертації моделі спектрально-статистичної текстури, алгоритму метода ідентифікації текстур на основі мультифрактальних показників та ознаки спектральної текстури та їх програмної реалізації в модулі сегментації спектрально-статистичних текстур для автоматизованих систем медичної та технічної діагностики. Даний модуль дозволив у середньому на 10% збільшити достовірність розпізнавання дерматологічних захворювань в автоматизованих системах медичної діагностики дерматологічних захворювань та на 7% збільшити достовірність розпізнавання зон зносу ріжучих інструментів, які аналізуються в системах технічної діагностики.

Методи сегментації спектрально-статистичних текстур, метод ідентифікації комбінованих спектрально-статистичних типів текстур на основі мультифрактальних показників та ознаки спектральної текстури впроваджені в СКРЗО системи діагностики дерматологічної хвороби псоріаз ТОВ «ЕЛАСКО-АРНІКА» (м. Одеса), що дозволило підвищити достовірність діагностичних рішень в середньому на 10%.

Теоретичні та практичні результати використано у навчальному процесі під час викладання дисциплін «Системи штучного інтелекту», «Теорія розпізнавання образів», «Математичне моделювання», «Сучасні методи обробки покриттів», а також під час виконання курсових і дипломних робіт на кафедрі прикладної математики та інформаційних технологій інституту комп'ютерних систем ОНПУ для студентів спеціальності 113 «Прикладна математика».

Особистий внесок здобувача. У роботах, які опубліковані у співавторстві автору дисертації особисто належать основні ідеї, теоретична та практична розробка положень, які відображені в характеристиці наукової новизни отриманих результатів, а саме: запропоновано модель спектрально-статистичної текстури та розроблено векторно-різницевий метод сегментації спектрально-статистичних текстур [1,4-9,13], розроблено метод ідентифікації спектрально-статистичної текстури [1], розроблено метод ідентифікації текстур на основі мультифрактальних показників та ознаки спектральної текстури [3,12], реалізовано метод ідентифікації впорядкованої текстури на основі мультифрактальних показників і відгуку узагальненого гребінчастого фільтру [2,10,11,14], реалізовано метод контурної сегментації із застосуванням поліпшених вейвлетів шляхом перетворення графіка ступеневої функції [2, 7, 8], проаналізовано особливості текстурних зображень, які оброблюються в системах медичної [2,15,16] і технічної діагностики [1,3,5,13].

Апробація результатів дисертації. Основні результати наукових досліджень неодноразово доповідалися на міжнародних та всеукраїнських конференціях, семінарах, зокрема: на 3-й та 9-й Міжнародних науково-практичних конференціях

«Інформаційні управляючі системи та технології (Одеса, 2013, 2020); науково-практичній конференції «Інтелектуальні системи прийняття рішень та прикладні аспекти інформаційних технологій» (Херсон, 2007); 1-й Міжнародній конференції «Data Stream Mining&Processing» (Львів, 2016); Міжнародній науково-технічній конференції «Сучасні проблеми радіоелектроніки, телекомунікацій, комп'ютерної інженерії» (Львів-Славське, 2010); VIII Міжнародній науковій конференції студентів та молодих вчених «Сучасні інформаційні технології» (Одеса, 2018); 1, 3 Міжнародних науково-практичних конференціях «Project, Program, Portfolio Management» (Одеса, 2018, 2020).

Публікації. За матеріалами дисертаційної роботи опубліковано 16 наукових праць, в тому числі 8 статей в наукових виданнях згідно зі списком наукових фахових видань МОН України, 8 матеріалів конференцій, 2 з яких включено до міжнародної наукометричної бази Scopus.

Обсяг та структура дисертації. Дисертаційна робота складається із вступу і чотирьох логічно пов'язаних між собою розділів, висновків, списку використаних джерел із 115 найменувань та додатків. Обсяг основного тексту дисертації становить 125 сторінок. Робота містить 40 рисунків, 25 таблиць.

ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

У **вступі** обґрунтовано актуальність теми дисертаційної роботи, сформульовано мету, задачі, об'єкт, предмет та методи дослідження, визначено наукову новизну та практичне значення отриманих результатів, наведено відомості щодо публікацій, апробації роботи та особистого внеску здобувача.

У **першому розділі** проведено аналіз прикладних СКРЗО які застосовують в інтелектуальних системах різного прикладного призначення, проаналізовано моделі представлення та методи сегментації текстурних зображень.

Показано, що особливий інтерес в науково-прикладному аспекті викликає аналіз текстурних зображень в системах медичної та технічної діагностики. Проаналізовано особливості представлення та обробки текстурних зображень в таких системах.

Показано, що для рішення задачі сегментації текстур застосують класифікаційні методи, для чого визначають декілька ознак (колір, інтенсивність, текстура) за якими виконується об'єднання даних в сегменти. Однак класифікаційні методи мають низьку оперативність.

Показано, що в багатьох практичних застосуваннях (наприклад, зображення дерматологічних захворювань і зон зносу ріжучих інструментів) текстура може бути спектральною, статистичною та комбінованою тобто спектрально-статистичною. Доведено, що для такого типу текстур доцільно враховувати їх властивості та розробити комбінований метод, який поєднав переваги притаманні різним методам текстурної сегментації, як детекторним так і класифікаційним.

За результатами проведеного аналізу визначено мету та завдання досліджень.

У **другому розділі** розроблено векторно-різницевий метод текстурної сегментації, запропонована математична модель спектрально-статистичної текстури, розроблено метод ідентифікації спектрально-статистичних текстур.

Аналіз існуючих методів текстурної сегментації показав, що основними є детекторні та класифікаційні. Методи першої групи здійснюють перехід від значень текстурних ознак до значень інтенсивності зображення і включають процедури розрахунку значень текстурних ознак, підкреслення границі між однорідними областями зображення, порогової і морфологічної обробки границь однорідних текстурних областей. В детекторних методах сегментація проводиться за однією ознакою. Класифікаційний підхід використовує методи розпізнавання образів, включаючи ідентифікацію та класифікацію, при віднесенні зображення до певного типу текстури. Класифікація відбувається за декількома ознаками, які визначаються на етапі ідентифікації. Аналіз існуючих методів текстурної сегментації показав, що детекторні методи текстурної сегментації прості в реалізації і відрізняються високою оперативністю, проте вони незавадостікі та дають високу похибку визначення координат точок границь текстурних областей. Класифікаційні методи складніші в реалізації і не забезпечують високої оперативності, але ці методи завадостійкі і дозволяють отримати низьку похибку визначення координат точок границь текстурних областей.

Для підвищення якості сегментації спектрально-статистичних текстур запропоновано векторно-різницевий метод текстурної сегментації, який базується на розрахунку модуля різниці векторів, елементами яких є значення текстурних ознак, для перетворення образу текстури в інтенсивність.

Для оцінки якості сегментації, коли подальшій обробці піддаються границі однорідних областей застосовують критерій Прета для порівняння границь ідеально і реально сегментованих зображень текстур:

$$R = (1/I) \sum_{i=1}^{I_A} 1/(1 + \alpha d_i^2), \quad (1)$$

де $I = \max(I_i, I_p)$; I_i, I_p — кількість точок на границі сегментів ідеально і реально сегментованих зображень відповідно; α — масштабний множник, враховуючий величину штрафу, який визвано зміщенням контуром; d_i — відстань між точкою границі реально сегментованого зображення і лінією, яка складається з точок ідеальної границі сегменту.

Векторно-різницевий метод текстурної сегментації включає наступні етапи: сканування зображення вікном обробки, ідентифікації, векторно-різницевого перетворення, контурної сегментації і реалізується за наступною функціональною схемою (рис. 1).

Як відомо, на етапі ідентифікації об'єкту розпізнавання ставиться у відповідність набір кількісних, якісних або логічних ознак, тобто будується первинний ідентифікаційний вектор або образ об'єкту розпізнавання. На ідентифікаційний вектор накладається вимога забезпечення достовірності класифікації.

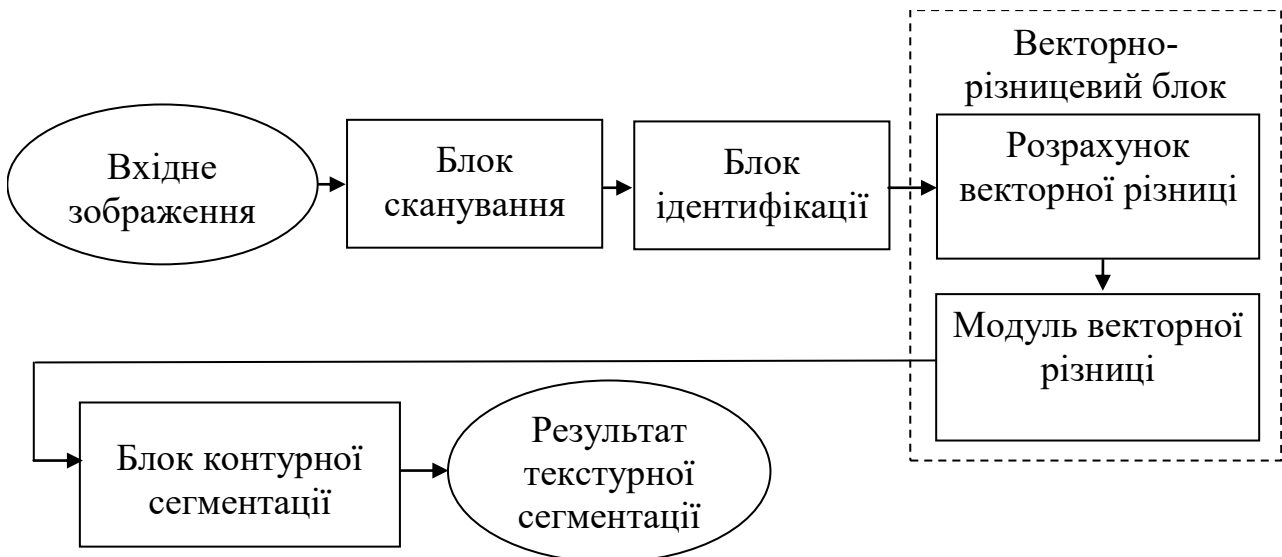


Рисунок 1 – Функціональна схема векторно-різницевого методу текстурної сегментації зображення

Розрахунок значень текстурних ознак виконується в апертурі обробки, яка обирається в залежності від мети обробки. Таким чином, на виході блоку ідентифікації отримують ідентифікаційний вектор j ознак для кожного i -го пікселя зображення в апертурі обробки $\vec{c}_i(c_{1,i}, c_{2,i}, \dots, c_{n,i})$, де $j = \overline{1, n}$, n – кількість ознак.

В векторно-різницевому блоці побудова ідентифікаційного вектору відбувається в два етапи:

1. Розрахунок різниці векторів в $(i+1)$ -му і i -му пікселях зображення, тобто обчислення різниці $\vec{c}_{i+1}(c_{1,i+1}, c_{2,i+1}, \dots, c_{n,i+1})$ і $\vec{c}_i(c_{1,i}, c_{2,i}, \dots, c_{n,i})$.

2. Розрахунок модуля різниці двох векторів $\vec{c}_{i+1}(c_{1,i+1}, c_{2,i+1}, \dots, c_{n,i+1})$ і $\vec{c}_i(c_{1,i}, c_{2,i}, \dots, c_{n,i})$ із застосуванням методів векторної алгебри:

$$\vec{c} = \left| \vec{c}_{i+1}(c_{1,i+1}, c_{2,i+1}, \dots, c_{n,i+1}) - \vec{c}_i(c_{1,i}, c_{2,i}, \dots, c_{n,i}) \right| = \overline{(c_{1,i+1} - c_{1,i}, c_{2,i+1} - c_{2,i}, \dots, c_{n,i+1} - c_{n,i})} \quad (2)$$

Далі застосовуються методи контурної сегментації.

Оскільки, запропонований метод має ознаки як детекторного, так і класифікаційного підходів, а останні потребують достатньої і представницької навчальної вибірки, то для її формування запропоновано метод моделювання спектрально-статистичної текстури.

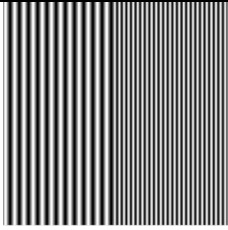
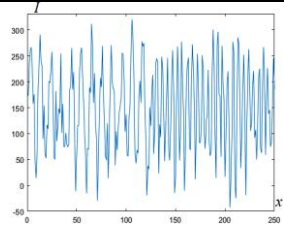
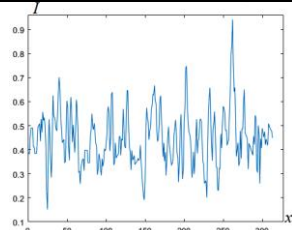
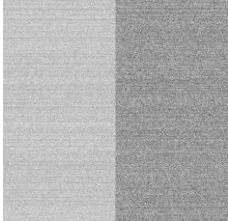
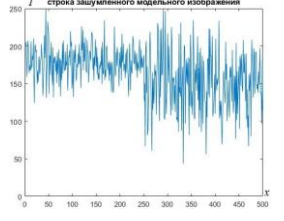
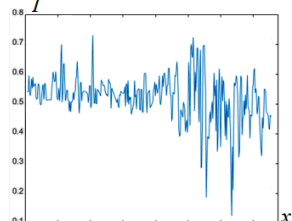
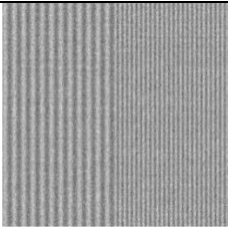
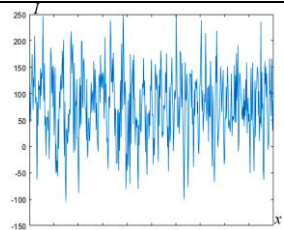
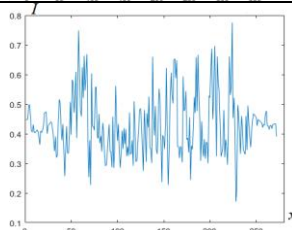
Слід відзначити, що, як правило, вибір відповідних методів сегментації відбувається на етапі моделювання з урахуванням моделі типу текстури. Для моделювання методів текстурної сегментації існують моделі статистичної та спектральної текстури, але відсутні моделі комбінованої спектрально-статистичної текстури, які затребувані в експрес-системах технічної і медичної діагностики. Тому виникає необхідність розробки моделі комбінованої спектрально-статистичної текстури і методу сегментації, який забезпечить достатню для потреб практики якість сегментації.

Оскільки, спектральні моделі текстур характеризуються значенням фонові складові та зміною просторової частоти, то рядок зображення спектральної текстури – це квазігармонійне (модульоване) коливання, частота, амплітуда і фаза якого змінюється за деяким випадковим законом. Тоді значення інтенсивності m -го рядка зображення спектральної текстури (табл. 1, рядок №1) представляється у вигляді об'єднання сегментів, що не перетинаються:

$$I(x, y_m) = \bigcup_{i=1}^k \{c_i(x, y_m) + \sum_{j=1}^n A_{ij}(x, y_m) \sin(\omega_m^{ij} x)\}, \quad x \in [q_{i-1}, q_i], \quad (3)$$

де $A_{ij}(x, y_m)$, ω_m^{ij} – відповідно амплітуда і частота j -го модульованого коливання на i -му сегменті m -го рядка зображення, $c_i(x, y_m)$ – представлення фону на i -му сегменті m -го рядку зображення, $q = (q_0, \dots, q_{k+1})$ – вектор границь текстурних областей m -го рядка зображення, причому $q_0=1$, $q_{k+1}=N+1$, N – кількість пікселів в рядку зображення, $x=1, \dots, N$; $y=1, \dots, M$ – просторові координати.

Таблиця 1 – Модельні зображення текстури

№	Тип текстури	Модельне зображення текстури	Рядок модельного зображення текстури з зададою	Рядок зображення псоріазної хвороби
1	спектральна			
2	статистична			
3	спектрально-статистична			

Приклад модельного зображення спектральної текстури (3), рядок цього зображення з зададою і рядок зображення псоріазної хвороби, яке описується спектральною моделлю текстур, представлено в табл. 1 (рядок № 1). Модельне зображення має розмір 512x512, інтенсивність пікселів зображення змінюється від 0 до 255, текстурне зображення представлено двома областями ($\omega_1 = 25$ період/град, $\omega_2 = 50$ період/град).

Статистичні моделі текстур в свою чергу характеризуються значенням фонові складові та зміною показників варіації випадкового поля, тоді значення інтенсивності m -го рядка зображення статистичної текстури (табл. 1, рядок №2) представляється у вигляді об'єднання сегментів, що не перетинаються:

$$I(x, y_m) = \bigcup_{i=1}^k \{c_i(x, y_m) + N_i(x, y_m), x \in [q_{i-1}, q_i]\}, \quad (4)$$

де $N_i(x, y_m)$ – гаусівський шум з нульовим середнім і дисперсією σ_i^2 на i -му сегменті зображення

Приклад модельного зображення статистичної текстури (4), рядок цього зображення з завадою і рядок зображення псоріазної хвороби, яке описується статистичною моделлю текстур представлено в табл. 1 (рядок № 2). Зображення має розмір 512x512, інтенсивність пікселів зображення змінюється від 0 до 255.

Запропоновано комбіновану спектрально-статистичну модель текстури, яка характеризується значенням фонові складові, випадковою зміною просторової частоти та показників варіації випадкового поля. Значення інтенсивності m -го рядка зображення спектрально-статистичної моделі текстури в табл. 1 (рядок № 3) представляється наступним чином:

$$I(x, y_m) = \bigcup_{i=1}^k \{c_i(x, y_m) + N_i(x, y_m) + \sum_{j=1}^n A_{ij}(x, y_m) \sin(\omega_m^{ij} x)\}, x \in [q_{i-1}, q_i], \quad (5)$$

де $N_i(x, y_m)$ – гаусівський шум з нульовим середнім і дисперсією σ_i^2 на i -му сегменті зображення.

Приклад модельного зображення спектрально-статистичної текстури (5), рядок зображення псоріазної хвороби, яке описується спектрально-статистичною моделлю текстур представлено в табл. 1 (рядок № 3). Зображення має розмір 512x512, інтенсивність пікселів зображення змінюється від 0 до 255, текстурне зображення представлено двома областями з різною частотою $\omega_1 = 25$ період/град, $\omega_2 = 50$ період/град, випадкова зміна амплітуди і частоти відбувається за рахунок накладення гаусівського шуму з нульовим середнім і різною дисперсією гаусовської завади для різних сегментів зображення.

На графіках в табл. 1 по осі абсцис відкладено значення просторової координати x , яка відповідає індексу пікселя зображення, по осі ординат відкладено значення інтенсивності пікселів m -го рядка текстурного зображення.

Для побудови образу спектрально-статистичної текстури було запропоновано метод ідентифікації спектрально-статистичної текстури, згідно якому будується ідентифікаційний вектор, який є комбінацією ознак спектральної та статистичної текстури.

Кожен елемент вектору ознак статистичної текстури пропонується визначати наступним чином:

1. Формується апертура обробки для кожного пікселя зображення розміру M . Розмір апертури обробки обирається в залежності від мети обробки.

2. В кожному рядку матриці зображення в апертурі обробки кожного пікселя виконується розрахунок середньої інтенсивності пікселів $\bar{I} = \frac{\sum_{i=1}^M I_i}{M}$.

3. В кожній апертурі обробки кожного пікселя виконується розрахунок статистичної оцінки дисперсії $\bar{\sigma}$.

Розрахунок статистичної оцінки дисперсії $\bar{\sigma}$ в залежності від мети обробки може проводитися одним з таких способів: шляхом квадратично-амплітудного

перетворення $\bar{\sigma} = \frac{\sum_{i=1}^M (I_i - \bar{I})^2}{M}$, двонапівперіодного амплітудного перетворення

$\bar{\sigma} = \frac{\sum_{i=1}^M |I_i - \bar{I}|}{M}$ або однопівперіодного амплітудного перетворення $\bar{\sigma} = \frac{\sum_{i=1}^M (I_i - \bar{I})}{M}$, де

$I_i > \bar{I}$, $i=1, M$. Проведено аналіз результатів виділення границь однорідних областей модельних зображень статистичної текстури для різних видів статистичної оцінки дисперсії. Оцінка якості виділення границь однорідних областей показала, що значення критерію Прета у разі застосування квадратичного амплітудного перетворення краще в 1,1-1,5 рази ніж у разі застосування двонапівперіодного амплітудного перетворення і краще в 1,5-2,5 рази ніж у разі застосування однопівперіодного амплітудного перетворення при відношенні сигнал/завада 2 і більше по потужності. Таким чином, в роботі для розрахунку статистичної оцінки дисперсії $\bar{\sigma}$ було використано квадратично-амплітудне перетворення.

Кожен елемент вектору ознак спектральної текстури розраховується відповідно до наступного алгоритму:

1. Формується апертура обробки розміру M для кожного пікселя зображення. Розмір апертури обробки обирається в залежності від мети обробки.

2. Виконується пряме перетворення Фур'є в кожному рядку матриці зображення в апертурі обробки кожного пікселя зображення:

$$\hat{I}(\omega) = \frac{1}{M} \sum_{x_i=1}^{M-1} I(x_i, y_m) e^{-j2\pi\omega x_i / M}, \quad \omega = \overline{0, M-1}.$$

3. Виконується лінійне перетворення частоти в кожній апертурі обробки кожного пікселя: $z(\omega) = k \cdot \hat{I}(\omega)$, в результаті чого спектральний склад текстури перетворюється у розкид.

4. Виконується зворотне перетворення Фур'є $I(x_i, y_m) = \sum_{\omega=1}^{M-1} z(\omega) e^{j2\pi\omega x_i / M}$, $x_i = \overline{0, M-1}$.

5. Розраховується статистична оцінка числової характеристики розкиду для кожного пікселя зображення в апертурі обробки.

Результат виконання етапів при розрахунку значення ознаки спектральної текстури наведено на рис. 2.

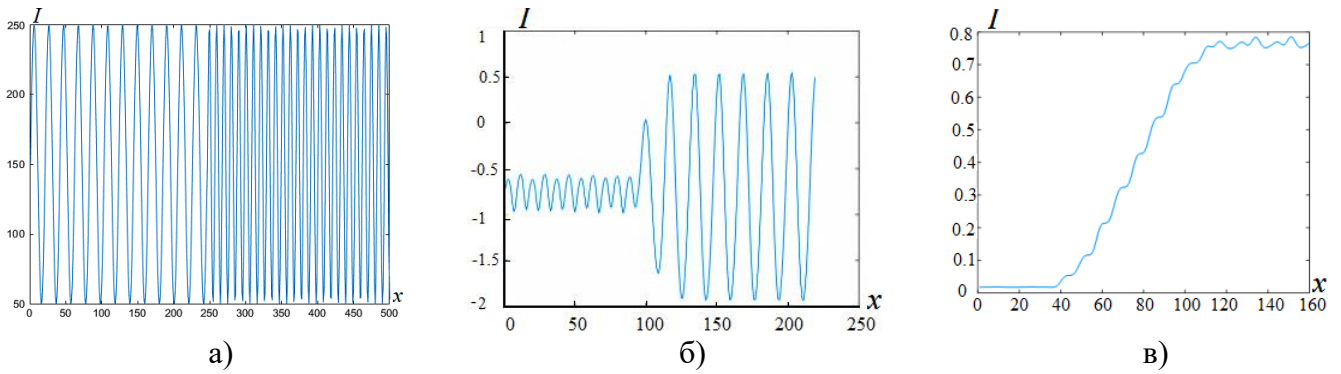


Рисунок 2 – Результати виконання етапів при розрахунку значення ознаки спектральної текстури рядок вхідного зображення (а), після частотного перетворення (б), після квадратично-амплітудного перетворення (в)

За формулою (2) було розраховано значення ознаки спектрально-статистичної текстури $\vec{\sigma}_r$, як модуль різниці двох векторів, з попереднім нормуванням значень ознак статистичної $\vec{\sigma}_i$ і спектральної $\vec{\sigma}_{i+1}$ текстури за максимальним значенням.:

$$\vec{\sigma}_i = \frac{\vec{\sigma}_i}{\sigma_{i,\max}}, \quad \vec{\sigma}_{i+1} = \frac{\vec{\sigma}_{i+1}}{\sigma_{i+1,\max}}, \quad \text{де } \vec{\sigma}_{i,\max} \text{ і } \vec{\sigma}_{i+1,\max} - \text{максимальне значення ознак}$$

варіації статистичної і спектральної текстури відповідно.

Проведено оцінку достовірності класифікації однорідних областей тестових зображень спектрально-статистичної текстури з різним рівнем завади при ідентифікації за ознаками спектральної та статистичної текстури, за ознакою спектральної текстури і за ознакою статистичної текстури на основі матриці неточностей (табл. 2).

Достовірність класифікації однорідних областей тестових зображень спектрально-статистичної текстури визначалася за допомогою метрик TPR , яка вимірює достовірність віднесення пікселів до області спектрально-статистичної текстури, якщо вони справді належать до області спектрально-статистичної текстури (ймовірність вірного виявлення текстури) і FPR , яка вимірює достовірність помилкового віднесення пікселів до області спектрально-статистичної текстури, якщо вони справді не належать області спектрально-статистичної текстури (ймовірність помилкової тривоги) (табл. 3).

Порівняльний аналіз результатів, що наведені у табл. 3 показав, що при ідентифікації за ознаками спектральної та статистичної текстури – ймовірність вірного виявлення спектрально-статистичної текстури (TPR) не менш ніж у 1,6 разів більше ніж за ознакою спектральної текстури і не менш ніж у 6 разів більше ніж за ознакою статистичної текстури при відношенні сигнал/завада 5 і більше по потужності.

При цьому ймовірність помилкової тривоги (FPR) менш ніж 0,4 при відношенні сигнал/завада менш ніж 5 по потужності і не більш ніж 0,06 при відношенні сигнал/завада більш ніж 5 по потужності.

Таблиця 2 – Матриця неточностей при ідентифікації модельного зображення (4) при різних відношеннях сигнал/завада по потужності q

Розмітка тестового зображення	q	Розмітка зображення за ознаками спектральної та статистичної текстури, %		Розмітка зображення за ознакою спектральної текстури, %		Розмітка зображення за ознакою статистичної текстури, %	
		Область 1	Область 2	Область 1	Область 2	Область 1	Область 2
Область 1	1	54,1427	45,8573	89,4187	10,5813	69,3747	30,6253
Область 2		36,5427	63,4573	72,2973	27,7027	34,052	65,948
Область 1	2	52,756	47,244	96,2133	3,7867	72,3573	27,6427
Область 2		36,904	63,096	77,12	22,88	35,096	64,904
Область 1	5	71,896	28,104	93,7667	6,2333	67,292	32,708
Область 2		39,6147	60,3853	60,78	39,22	34,8693	65,1307
Область 1	10	95,3987	4,6013	80,744	19,256	80,744	42,9227
Область 2		35,736	64,264	38,1387	61,8613	39,816	60,184
Область 1	20	95,0493	4,9507	81,4427	18,5573	40,1813	59,8187
Область 2		19,476	80,524	28,2667	71,7333	47,0747	52,9253
Область 1	50	93,8213	6,1787	83,6973	16,3027	18,0733	81,9267
Область 2		12,3893	87,6107	15,424	84,576	51,0933	48,9067
Область 1	100	94,5413	5,4587	87,3453	12,6547	15,3107	84,6893
Область 2		1,9493	98,0507	11,4573	88,5427	53,3613	46,6387

Таблиця 3 – Результати визначення достовірності класифікації однорідних областей за метрикою TPR при різних відношеннях сигнал/завада по потужності

Відношення сигнал/завада по потужності	За ознаками спектральної та статистичної текстури	За ознакою спектральної текстури	За ознакою статистичної текстури
1	0,59	0,56	0,68
2	0,58	0,55	0,67
5	0,64	0,60	0,65
10	0,73	0,67	0,66
20	0,83	0,74	0,46
50	0,88	0,84	0,26
100	0,97	0,88	0,22

У третьому розділі на основі запропонованого векторно-різницевого методу і розробленого методу ідентифікації спектрально-статистичної текстури розроблено векторно-різницевий метод спектрально-статистичної текстури. Для реалізації цього методу необхідно обрати метод контурної сегментації. В роботі для контурної сегментації запропоновано використати метод контурної сегментації із застосуванням вейвлетів, отриманих шляхом перетворення графіка степеневі функції, які задовольняють вимогам завадостійкості і характеризуються низькою похибкою визначення координат точок перепадів інтенсивності для підкреслюючого перетворення.

Розроблений метод сегментації спектрально-статистичної текстури містить наступні етапи:

1. Розрахунок значень ознаки статистичної текстури c_1 (числова характеристика розкиду статистичної текстури) і ознаки спектральної текстури c_2 (числова характеристика розкиду спектральної текстури) для i -го пікселя зображення в апертурі обробки.

2. Формування ідентифікаційного вектору ознак для кожного i -го пікселя зображення в апертурі обробки $\vec{c}_i(c_{1,i}, c_{2,i})$ у просторі ознак.

3. Розрахунок різниці векторів в $(i+1)$ -му і i -му пікселях зображення, тобто обчислення різниці між векторами $\vec{c}_{i+1}(c_{1,i+1}, c_{2,i+1})$ і $\vec{c}_i(c_{1,i}, c_{2,i})$.

4. Розрахунок модуля різниці двох векторів $\vec{c}_{i+1}(c_{1,i+1}, c_{2,i+1})$ і $\vec{c}_i(c_{1,i}, c_{2,i})$ (2).

5. Контурна сегментація із застосуванням вейвлетів, отриманих шляхом перетворення графіка степеневі функції.

Запропонована функціональна схема реалізації векторно-різницевого метода сегментації спектрально-статистичної текстури (рис. 3) яка містить наступні блоки: блок сканування, ідентифікації, векторно-різницевий блок, блок контурної сегментації.

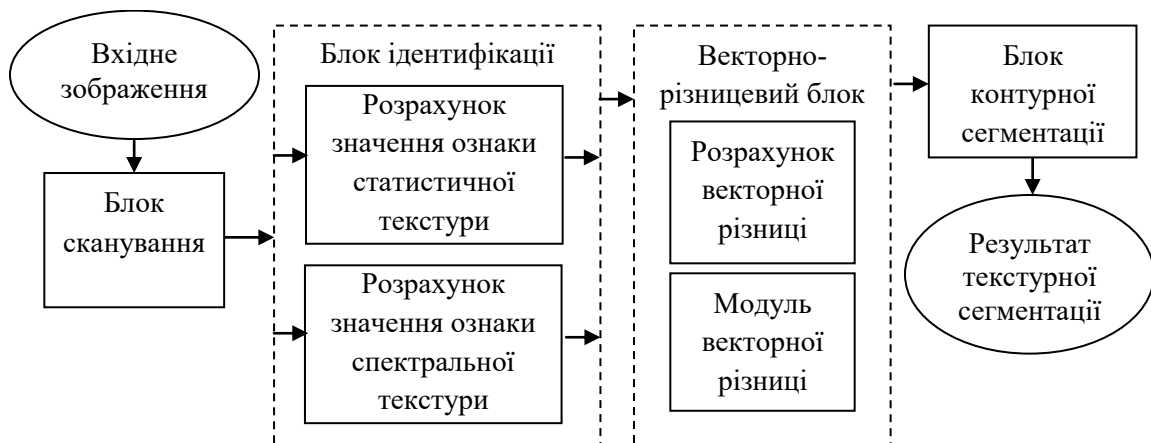


Рисунок 3 – Функціональна схема векторно-різницевого метода сегментації спектрально-статистичної текстури

В блоці ідентифікації будуються ідентифікаційні вектори ознак спектральної і статистичної текстури методом ідентифікації спектрально-статистичних ознак розробленим у роботі.

Далі отримані вектори ознак поступають в векторно-різницевий блок, де виконується нормалізація значень ознак за максимальним значенням і відбувається розрахунок модуля різниці двох векторів із застосуванням методу векторної алгебри.

На виході векторно-різницевого блоку отримуємо зображення з розмитими перепадами інтенсивності, які мають шумові викиди, що приводить до зміщення границі однорідних текстурних областей. На етапі контурної сегментації для підкреслення границь однорідних текстурних областей було реалізовано і досліджено метод контурної сегментації із застосуванням вейвлетів, отриманих на основі степеневі функції. Результати дослідження показали, що застосування таких

вейвлетів дозволило підвищити якість контурної сегментації однорідних текстурних областей на 10-20%.

Проведено експериментальне дослідження розробленого векторно-різницевого методу сегментації та існуючих – амплітудно-детекторного та частотно-детекторного методів (рис. 4).

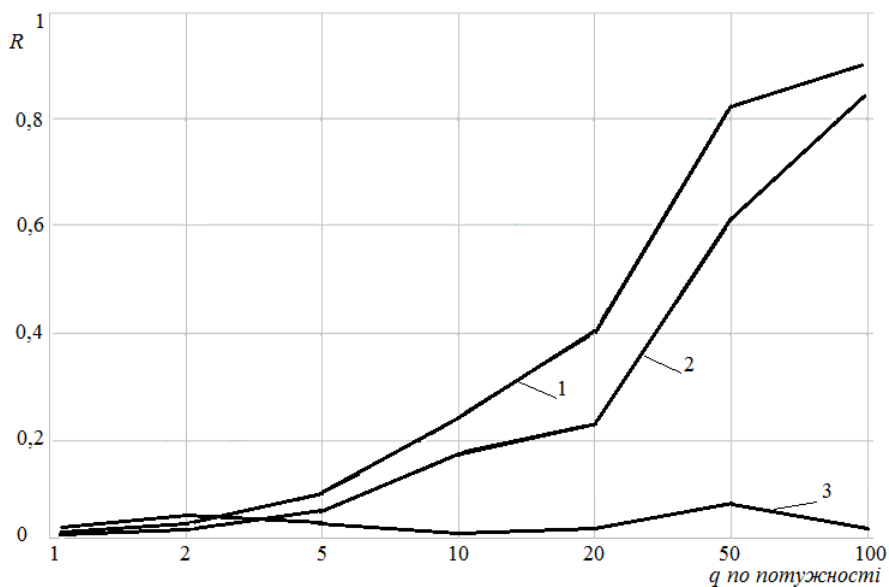


Рисунок 4 – Залежність критерію Прета від відношення сигнал/завада по потужності для векторно-різницевого метода (1), частотно-детекторного метода (2), амплітудно-детекторного метода (3) текстурної сегментації

На рис. 5 наведені тестове зображення (при відношенні сигнал/завада 5 по потужності) і результати текстурної сегментації різними методами. Результати експериментального дослідження показали, що запропонований векторно-різницевий метод краще частотно-детекторного методу текстурної сегментації в 1,5-1,8 рази і амплітудно-детекторного методу не менш ніж в 13 разів при відношенні сигнал/завада 5 і більше по потужності.

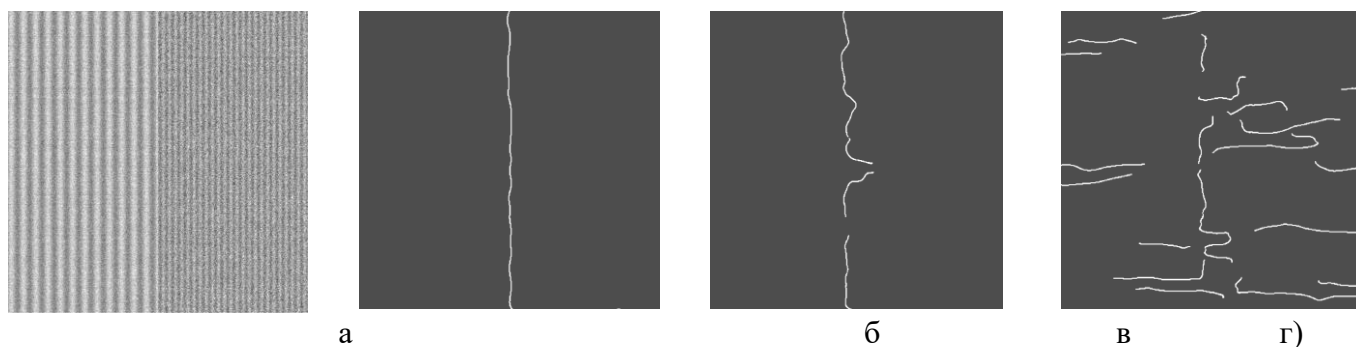


Рисунок 5 – Тестове зображення при відношенні сигнал/завада 5 по потужності (а) і результати його текстурної сегментації запропонованим методом (б), частотно-детекторним методом (в) і амплітудно-детекторним методом (г)

Слід зазначити, що метод текстурної сегментації обирається на основі встановлення типу текстури. Для ідентифікації текстур (спектральної, статистичної, спектрально-статистичної) на зображенні запропоновано формувати ідентифікаційний вектор, елементами якого є значення мультифрактальних показників та ознака спектральної текстури.

Для визначення значення ознаки спектральної текстури застосовується алгоритм сформульований у роботі. Було обрано відомі з літератури мультифрактальні показники H_1 та C_1 , які відповідно характеризують нестационарність і імпульсність даних, представлених значеннями інтенсивності i -го стовпця зображення $I(x, y_i)$, де $x=1, \dots, N$ - просторова координата пікселя зображення, N – кількість пікселів у стовпці зображення.

Мультифрактальний показник H_1 визначається як $H_1 = \zeta(1)$ (6) і знаходиться шляхом визначення параметрів лінійної регресійної залежності $\ln\left(\frac{1}{N} \sum_{x=1}^N |\Delta I(1, x, y_i)|\right)$ від $\ln\left(\frac{r}{N}\right)$.

Значення інтенсивності зображення у значенні сингулярних мір характеризується мультифрактальним показником C_1 , який визначається як апроксимація похідної $K(\tau)$ в точці $\tau=1$: $C_1 = K'(1) \geq 0$ (7) з використанням лінійної регресійної залежності $\ln\left(\frac{1}{N} \sum_{x=1}^N \varepsilon(r, x, y_i)\right)$ від $\ln\left(\frac{r}{N}\right)$.

Тестування розробленого методу ідентифікації текстур на основі мультифрактальних показників та ознаки спектральної текстури проводилося для модельних зображень текстури (3)-(5). Для класифікації текстур використано дискримінантний аналіз.

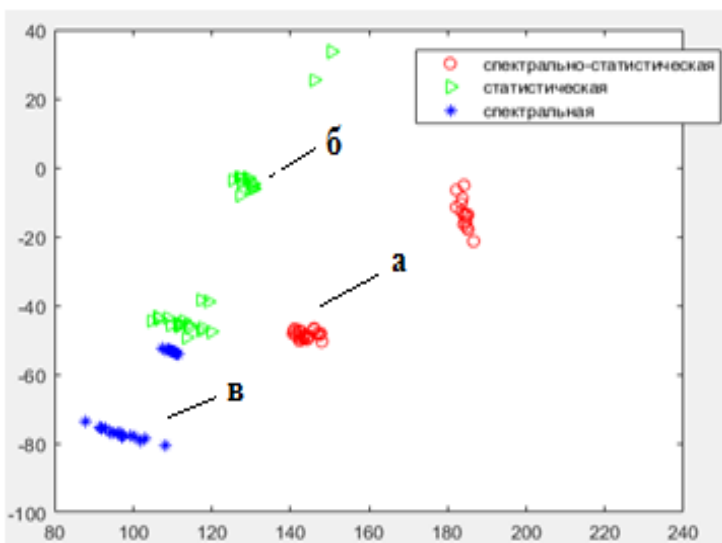


Рисунок 6 – Графічне представлення областей прийняття рішень ідентифікації 3-х типів текстур: а) спектрально-статистичної, б) статистичної, в) спектральної

Навчальна вибірка містила по 33 фрагменти зображень кожного типу текстури, а тестова – по 11 фрагментів. На основі навчальної вибірки на етапі навчання приймалося вирішальне правило, яке дозволило розділити об'єкти на класи (рис. 6). На робочому етапі за отриманим вирішальним правилом визначалося до якого класу відноситься образ текстури з тестової вибірки. На рис. 7 представлено результат класифікації текстурних зображень у просторі ознак двох головних компонент a_1 і a_2 для різних типів текстур: спектрально-статистичної (а), статистичної (б), спектральної (в).

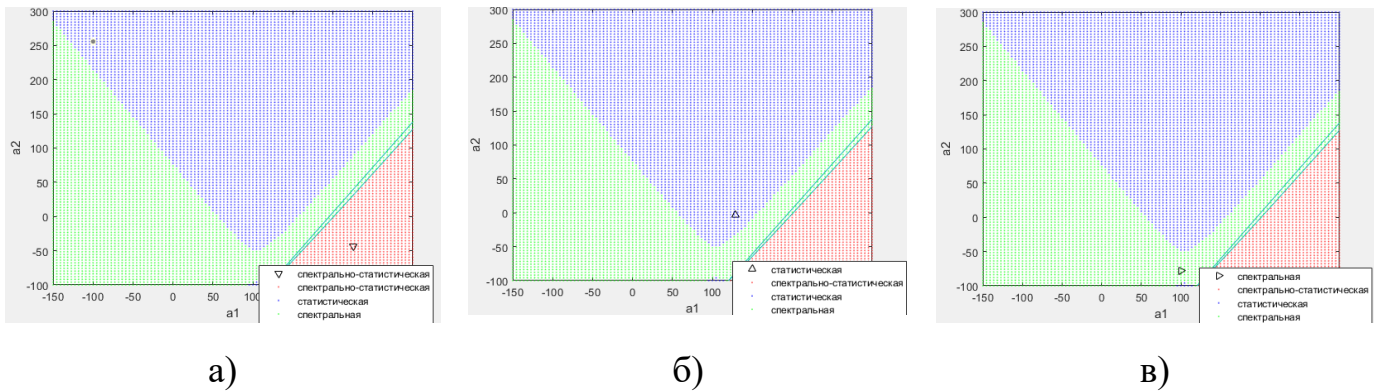


Рисунок 7 – Графічне представлення результату класифікації в просторі ознак a_1 і a_2 для текстур: спектрально-статистичної а), статистичної б), спектральної в)

Проведений аналіз достовірності класифікації типів текстур показав, що розроблений метод дозволяє ідентифікувати комбіновану текстуру з ймовірністю 0,9 при ймовірності помилкової тривоги 0,15, що достатньо для потреб практики.

У четвертому розділі розроблено модуль сегментації спектрально-статистичних текстур на основі розробленого векторно-різницевого методу сегментації для СКРЗО систем технічної та медичної діагностики. За структурною схемою (рис. 8) в блок попередньої обробки потрапляє вхідне зображення об'єкту розпізнавання збереженого в певному форматі (табл. 4), де відбувається застосування гомоморфного фільтру для позбавлення мультиплікативної завади, яка виникає внаслідок нерівномірного освітлення об'єкту при отриманні його зображення. Оброблене зображення потрапляє в блок ідентифікації типу текстури, де відбувається розрахунок значень мультифрактальних показників та ознаки спектральної текстури. Отриманий образ текстури потрапляє на вхід блоку класифікації типу текстури, де відбувається віднесення однорідних фрагментів зображення до певного класу текстури – клас статистичної, спектральної, спектрально-статистичної текстури. В залежності від визначеного типу текстури застосовуються методи сегментації: у разі спектральної текстури частотно-детекторний метод, у разі статистичної – амплітудно-детекторний, у разі спектрально-статистичної текстури запропонований векторно-різницевий метод сегментації. В результаті обробки в векторно-різницевому блоці відбувається перетворення образу текстур в інтенсивність. В блоці морфологічної обробки за допомогою морфологічних операцій відбувається позбавлення неінформативних об'єктів, заповнення дірок, згладжування границь, які виникли в результаті бінаризації зображення. В блоці контурної сегментації застосовується метод контурної сегментації зображень із застосуванням вейвлетів, отриманих шляхом перетворення графіка степеневі функції.

Особливості розробленого модуля сегментації наступні:

1. Блок ідентифікації типу текстури містить розроблений в розділі 3 метод ідентифікації типів текстур на основі мультифрактальних показників та ознаки спектральної текстури.

2. У блоці сегментації текстури застосовується векторно-різницевий метод сегментації спектрально-статистичної текстури, розроблений у розділі 3.

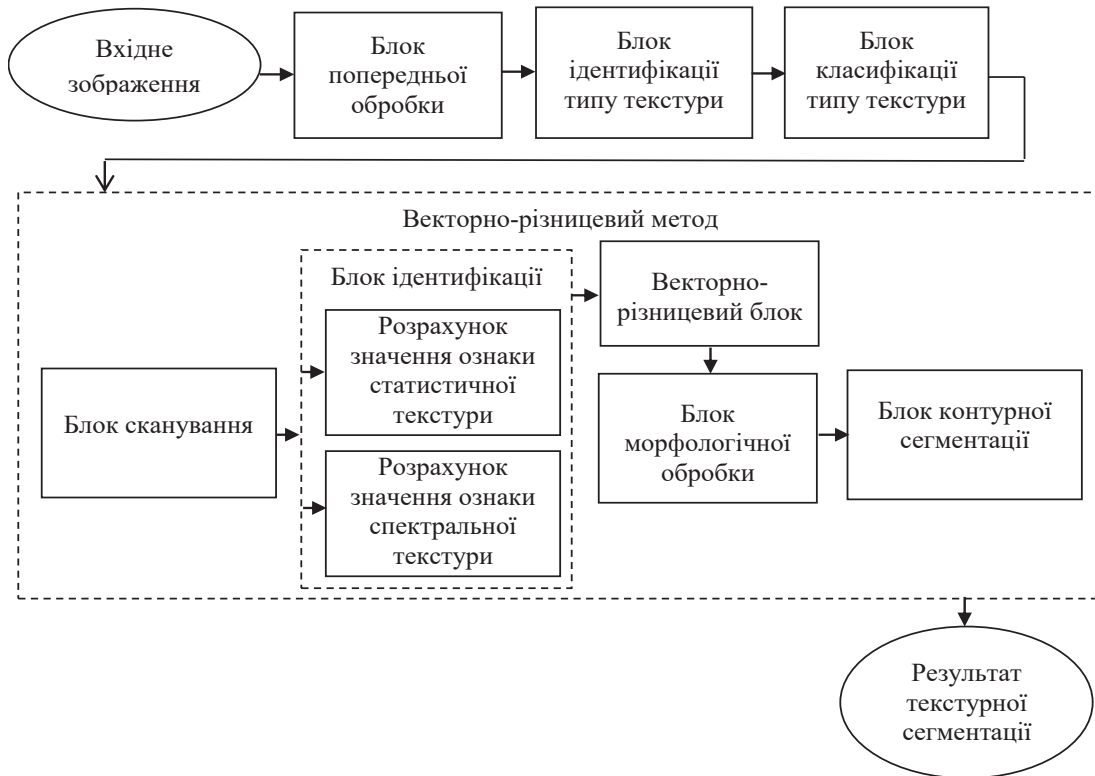


Рисунок 8 – Структурна схема СКРЗО

3. У блоці ідентифікації застосовується розроблений у розділі 2 метод ідентифікації спектрально-статистичної текстури.

Для ідентифікації впорядкованої текстури на зображенні реалізовано метод ідентифікації, в результаті застосування якого формується ідентифікаційний вектор, елементами якого є мультифрактальні показники H_1 , C_1 і відгук узагальненого гребінчастого фільтру, який має максимальне значення у разі визначення границі текстурної області.

Розроблений модуль сегментації спектрально-статистичних текстур застосовано для сегментації медичних зображень псоріазної хвороби шкіри та зображень зон зносу ріжучих інструментів (PI) в СКРЗО автоматизованих систем медичної та технічної діагностики відповідно.

В табл. 4 наведено приклад вхідних зображень псоріазної хвороби шкіри та зображень зони зносу ріжучих інструментів з розміткою експерта, і зображень, які отримані в результаті застосування запропонованого векторно-різницевого методу текстурної сегментації.

Результати тестування показали, що ймовірність вірного виявлення області зон зносу PI за допомогою запропонованих рішень склала в середньому 0,93 при ймовірності помилкової тривоги 0,05 і при виявленні області захворювання на зображеннях псоріазної хвороби шкіри – в середньому 0,96 при ймовірності помилкової тривоги 0,05, що краще ніж за допомогою аналогів.

Таблиця 4 – Приклади текстурних зображень і результати сегментації

Модель текстури	Вхідне зображення	Вхідне зображення з розміткою експерта	Результат сегментації з розміткою експерта	Результат сегментації після виділення контурів
Спектрально-статистична				
				

Акт впровадження у ТОВ «ЕЛАСКО-АРНІКА» (м. Одеса) розробленого модуля сегментації в СКРЗО діагностичної медичної системи наведено в додатках.

ВИСНОВКИ

У дисертації наведено результати, які відповідно до поставленої мети є вирішенням науково-технічні задачі підвищення якості сегментації зображень за рахунок розробки і дослідження моделі та методів сегментації спектрально-статистичних текстур в системах комп'ютерного розпізнавання зорових образів медичної і технічної діагностики.

1. Проведено аналіз прикладної області, який показав, що існуючі методи текстурної сегментації не забезпечують необхідної для практики якості при сегментації комбінованих спектрально-статистичних текстур, що знижує ефективність використання СКРЗО.

2. Розроблена математична модель комбінованої спектрально-статистичної текстури, яка враховує ознаки спектральної і статистичної текстури, що дозволило розробити метод ідентифікації спектрально-статистичної текстури.

3. Розроблено і досліджено метод ідентифікації спектрально-статистичних текстур, який враховує значення ознак статистичної та спектральної текстури, що дозволило підвищити ймовірність вірного виявлення спектрально-статистичної текстури не менше ніж в 1,6 разів в порівнянні з ідентифікацією за ознакою спектральної текстури і не менше ніж в 6 разів в порівнянні з ідентифікацією за ознакою статистичної текстури при відношенні сигнал/завада 5 і більше по потужності.

4. Розроблено і досліджено векторно-різницевий метод сегментації спектрально-статистичних текстур. Дослідження показали, що розроблений метод дозволив підвищити якість сегментації в 1,5–1,8 разів (за критерієм Прета) в порівнянні з частотно-детекторним методом текстурної сегментації і не менше ніж у 13 разів в порівнянні з амплітудно-детекторним методом текстурної сегментації при відношенні сигнал/завада 5 і більше по потужності.

5. Розроблено і досліджено метод ідентифікації спектрально-статистичних текстур, який враховує значення мультифрактальних показників та ознаки спектральної текстури, що дозволило виявляти на зображеннях комбіновану

текстуру з ймовірністю 0,9 при ймовірності помилкової тривоги 0,15, що достатньо для потреб практики.

6. Реалізовано і досліджено метод контурної сегментації спектрально-статистичної текстури із застосуванням поліпшених вейвлетів шляхом перетворення графіка ступеневої функції, що дозволило підвищити достовірність визначення границь однорідних текстурних областей на 10-20%.

7. Реалізовано і впроваджено в СКРЗО метод ідентифікації впорядкованої текстури на основі мультифрактальних показників і відгуку узагальненого гребінчастого фільтру, що дозволило визначати на зображеннях однорідні області впорядкованої текстури.

8. Розроблені методи та алгоритми були апробовані в прикладній системі підтримки прийняття рішень для телемедицини у ТОВ «ЕЛАСКО-АРНІКА» (м. Одеса), що дозволило підвищити достовірність визначення таких важливих для моніторингу стану пацієнтів показників як площа шкіри, яка уражена хворобою псоріаз (Body Surface Area (BSA)) і індекс площі і тяжкості псоріатичних уражень (Psoriasis Area Severity Index (PASI)). Також цю систему впроваджено до навчального процесу ОНПУ і використано у дисциплінах «Системи штучного інтелекту», «Теорія розпізнавання образів», «Математичне моделювання», «Сучасні методи обробки покриттів».

СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

Наукові праці, в яких опубліковані основні наукові результати дисертації:

1. Krylov V. N. Vector-difference texture segmentation method in technical and medical express diagnostic systems / V. N. Krylov, N. P. Volkova // Herald of Advanced Information Technology. – 2020. – Vol.3, No.4. –P. 174 – 186. *Стаття опублікована у виданні України, включеному до переліку наукових фахових видань України (Index Copernicus International, Academia, Національна бібліотека України ім. В. І. Вернадського)*

2. Volkova N. P. Detector Quasi-Periodic Texture Segmentation Method For Dermatological Images Processing. N. P. Volkova // Herald of Advanced Information Technology. – 2020. –Vol.2, No.4. – P.259 – 267. *Стаття опублікована у виданні України, включеному до переліку наукових фахових видань України (Index Copernicus International, Academia, Національна бібліотека України ім. В. І. Вернадського)*

3. Деревянченко А.Г. Автоматизированная идентификация смешанных шумов изображений зон износа режущих инструментов мультифрактальным методом / А. Г. Деревянченко, М. В. Полякова, Н. П. Волкова, Л. В. Бовнегра // Современные технологии в машиностроении: Сборник науч. статей. – Харьков: НТУ “ХПИ”. 2006. – Том. 1. – С. 85 – 92. *Стаття опублікована у виданні України, включеному до переліку наукових фахових видань України (Google Scholar)*

4. Крылов В.Н. Метод текстурной сегментации изображений с применением детектирования / В.Н. Крылов, М.В. Полякова, Н.П. Волкова // Вестник ХНТУ. – 2006. – Вып. 2 (25). – С. 226 – 270. *Стаття опублікована у виданні України, включеному до переліку наукових фахових видань України (Google Scholar,*

Національна бібліотека України ім. В. І. Вернадського, РИИЦ (eLibrary))

5. Полякова М. В. Текстурная сегментация изображений зон износа режущих инструментов амплитудно-детекторным методом / М. В. Полякова, В. Н. Крылов, Н. П. Волкова // Международный научный журнал «Комп'ютинг». – 2009. – Т. 8, № 3. – С. 22 – 31. *Стаття опублікована у виданні України, включеному до переліку наукових фахових видань України (Google Scholar)*

6. Полякова М.В., Крылов В.Н., Волкова Н.П. Методология выбора подчеркивающего преобразования при сегментации изображений иерархических объектов и анализе сцен / М. В. Полякова, В. Н. Крылов, Н. П. Волкова // Бионика интеллекта. – 2011. – № 1 (75). – С. 56 – 66. *Стаття опублікована у виданні України, включеному до переліку наукових фахових видань України (Google Scholar, Національна бібліотека України ім. В. І. Вернадського, Index Copernicus International, Academia)*

7. Крылов В.Н. Контурная сегментация в пространстве гиперболического вейвлет-преобразования с использованием математической морфологии / В. Н. Крылов, М. В. Полякова, Н. П. Волкова // Автоматика. Автоматизация. Електротехнічні комплекси та системи. – 2006. – № 2. – С. 57 – 63.

8. Полякова М. Метод построения улучшенных вейвлетов путем преобразования графика степенной функции для задачи контурной сегментации изображений / М. Полякова, В. Крылов, Н. Волкова // Международный научный журнал «Комп'ютинг». – 2012. – Т. 11, № 3. – С. 203 – 214. *Стаття опублікована у виданні України, яке було включеному до переліку наукових фахових видань України (Google Scholar)*

Опубліковані праці апробаційного характеру:

1. Волкова Н. П. Векторно-різницевий метод сегментації спектрально-статистичних текстур / Н. П. Волкова // «Інформаційні управляючі системи та технології»: матеріали ІХ Міжнародної науково-практичної конференції (м. Одеса, 24-26 верес. 2020 р.); ОНПУ. – Одеса: Екологія, 2020. – С. 196 – 198.

2. Полякова М.В. Разработка преобразований с обобщенными гребенчатыми масштабными и вейвлет-функциями. / М. В. Полякова, Н. П. Волкова, Н. А. Гуляева // «Інформаційні управляючі системи та технології»: матеріали ІІІ Міжнародної науково-практичної конференції (м. Одеса, 8 – 10 жовтня 2013 р.); ОНМУ. – Одеса, 2013. – С. 201–203.

3. Polyakova M., Krylov V., Volkova N. The methods of Image Segmentation Based on Distributions and Wavelet Transform. // *IEEE First International Conference on Data Stream Mining&Processing (DSMP)*. 2016. (Lviv, Ukraine, August 23-27, 2016). – Lviv, 2016. – P.243 – 247. *Стаття опублікована у виданні України, включеному в міжнародну наукометричну базу Scopus*

4. Волкова Н.П. Метод ідентифікації текстурних областей зображень / Н. П. Волкова // Project, Program, Portfolio Management. P3M-2020: The Proceedings of the International Research Conference (Odesa, Ukraine, 04 – 05 Desember, 2020). – Odesa, 2020. – P.187 – 191.

5. Деревянченко А. Г. Текстурная сегментация изображений зон износа

режущих инструментов амплитудно-детекторным методом / А. Г. Деревянченко, М. В. Полякова, В. Н. Крылов, Н. П. Волкова, Е. В. Процепова // «Интеллектуальные системы принятия решений и прикладные аспекты информационных технологий» (ISDMIT-2007): материалы научно-практической конференции (м. Херсон, 14—18 мая, 2007 г.). – Херсон: ПП Вышемирский В.С., 2007. –Т. 3. – С. 124 – 126.

6. Polyakova M, Krylov V, Volkova N. Edge Detection Based on Wavelets Constructed by Transforms of the Graph of Degree Function. // *Telecommunications and Computer Science (TCSET):Modern Problems of Radio Engineering* (Lviv-Slavske, Ukraine, February 23-27, 2010). – Lviv, 2016. – P.270. *Доповідь опубліковано у виданні України, включеному в міжнародну наукометричну базу Scopus*

7. Волкова Н. П. Сегментація медичних зображень за допомогою кольорових ознак / Н. П. Волкова, Г. О. Кучеренко, Д. Р. Горпенко// «Сучасні інформаційні технології»: матеріали VIII Міжнародної наукової конференції студентів та молодих вчених (м. Одеса, 23-25 травня 2018 р.); ОНПУ. – Одеса. – С. 101 – 102.

8. Єфімов Д.Р. Класифікація об'єктів в задачі сегментації медичних зображень / Д.Р. Єфімов, Д.Є. Гусак, Н.П. Волкова // Project, Program, Portfolio Management. P3M-2018: The Proceedings of the International Research Conference (Odesa, Ukraine, 07 – 08 Desember, 2018). – Odesa, 2020. – С. 23 – 27.

АНОТАЦІЯ

Волкова Н.П. Моделі і методи сегментації спектрально-статистичних текстур в системах комп'ютерного розпізнавання зорових образів. – На правах рукопису.

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.13.23 – Системи і засоби штучного інтелекту. – Одеський національний політехнічний університет, МОН України, Одеса, 2021.

Дисертація присвячена вирішенню науково-практичної задачі розробки моделей та методів сегментації комбінованих спектрально-статистичних текстур в системах комп'ютерного розпізнавання зорових образів для підвищення якості сегментації текстурних зображень в інтелектуальних системах медичної і технічної діагностики.

В роботі досліджено та проаналізовано існуючі методи сегментації текстурних зображень. Розроблена математична модель комбінованої спектрально-статистичної текстури. Розроблено і досліджено метод ідентифікації спектрально-статистичних текстур. Розроблено і досліджено векторно-різницевий метод сегментації спектрально-статистичних текстур. Розроблено і досліджено метод ідентифікації спектрально-статистичних текстур, який враховує значення мультифрактальних показників та ознаки спектральної текстури. Реалізовано і досліджено метод контурної сегментації спектрально-статистичної текстури із застосуванням поліпшених вейвлетів шляхом перетворення графіка ступеневої функції. Реалізовано і впроваджено в СКРЗО метод ідентифікації впорядкованої текстури на основі мультифрактальних показників і відгуку узагальненого гребінчастого фільтру.

Проведено експериментальне дослідження розробленого програмного модуля

сегментації спектрально-статистичних текстур, а також виконана апробація даного модуля сегментації в СКРЗО інтелектуальних систем медичної та технічної діагностики.

Ключові слова: текстурна сегментація, точність сегментації, спектрально-статистична текстура, детекторні методи сегментації, класифікаційні методи сегментації, матриця неточностей, векторно-різницевий метод сегментації.

ABSTRACT

Volkova N. P. Models and methods for spectral-statistical texture segmentation in the systems of computer recognition of visual patterns. – Manuscript.

The thesis for the obtaining the scientific degree of the Candidate of Technical Science by the specialty 05.13.23 – systems and means of artificial intelligence. – Odessa National Polytechnic University, Ministry of Education and Science of Ukraine, Odessa, 2021.

The dissertation is devoted to solving the scientific and practical problem of developing models and methods for segmentation of combined spectral-statistical textures in the systems of computer recognition of visual patterns to improve the quality of segmentation of texture images in intelligent systems of medical and technical diagnostics.

In the research, the existing texture segmentation methods were analyzed. A mathematical model of the combined spectral-statistical texture was developed. A method for identifying spectral-statistical textures was developed and investigated. A vector-difference segmentation method for combined spectral-statistical textures was developed and investigated. A texture identification method for spectral-statistical textures based on multifractal features and a spectral texture feature. The contour segmentation method with use of improved wavelets by transforming the graph of a power function was researched and implemented. A texture identification method for an ordered texture based on multifractal features and the response of a generalized comb filter was executed and implemented into the systems of computer recognition of visual patterns.

A software module for spectral-statistical textures segmentation has been developed. This segmentation module has been tested in the systems of computer recognition of visual patterns of intelligent systems of medical and technical diagnostics.

Keywords: texture image segmentation; segmentation accuracy; spectral-statistical texture; detector texture segmentation methods; classification methods of segmentation; confusion matrix; vector-difference texture segmentation method.

АННОТАЦИЯ

Волкова Н.П. Модели и методы сегментации спектрально-статистических текстур в системах компьютерного распознавания зрительных образов. – На правах рукописи.

Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.13.23 - Системы и средства искусственного интеллекта. – Одесский национальный политехнический университет, МОН Украины, Одесса, 2021.

Диссертация посвящена решению научно-практической задачи разработки

моделей и методов сегментации комбинированных спектрально-статистических текстур в системах компьютерного распознавания зрительных образов (СКРЗО) для повышения качества сегментации текстурных изображений в интеллектуальных системах (ИС) медицинской и технической диагностики. Проведенный анализ структуры СКРЗО в интеллектуальных информационных системах медицинской и технической диагностики, в которых диагностическое решение принимается путем анализа текстурных областей показал, что для повышения достоверности диагностических решений без значительных потерь скорости обработки усовершенствования требует один из важных модулей СКРЗО – модуль сегментации. Определяющими показателями работы методов сегментации является качество сегментации и время обработки изображений. С учетом этих показателей выделены детекторные и классификационные методы текстурной сегментации. Показано, что детекторные методы отличаются небольшим временем обработки изображений, но качество сегментации при низком качестве изображений снижается. При детекторном подходе сегментация изображения происходит по одному признаку сегментации, который преобразуется в интенсивность, значение которой меняется на границах однородных текстурных областей изображения. При классификационном подходе сегментация изображений происходит по нескольким признакам сегментации, для определения которых требуется значительная по объему обучающая выборка. Классификационные методы отличаются высоким качеством сегментации, но время обработки изображений значительно увеличивается. Кроме того, установлено, что существующие методы текстурной сегментации (детекторные, классификационные) при наличии на обрабатываемых изображениях комбинированной спектрально-статистической текстуры не обеспечивают достаточного для нужд практики качества сегментации при достаточной оперативности.

Для повышения качества сегментации комбинированных спектрально-статистических текстур разработан векторно-разностный метод, в котором значение признака текстуры рассчитывается как модуль разности векторов, описывающих образ текстуры в пространстве признаков.

Поскольку, предложенный метод имеет признаки как детекторного так и классификационного подходов, а последние нуждаются в представительной обучающей выборке, то для ее формирования разработана математическая модель спектрально-статистической текстуры, которая учитывает математическое представление статистической и спектральной текстуры, при этом статистическая текстура моделируется как случайное поле, а спектральная - как линейная комбинация квазигармонических колебаний.

Для повышения качества контурной сегментации реализован и исследован метод контурной сегментации с применением улучшенных вейвлетов, полученных на основе преобразования степенной функции.

Для построения образа спектрально-статистической текстуры в пространстве признаков, с учетом разработанной модели, разработан метод идентификации спектрально-статистической текстуры, учитывающий признаки статистической и спектральной текстуры, что позволило повысить достоверность классификации спектрально-статистической текстуры.

Для повышения достоверности классификации типов текстуры (спектральной, статистической, спектрально-статистической) в работе разработан метод идентификации текстур на основе мультифрактальных признаков и признака спектральной текстуры. Для определения границ однородных областей упорядоченной текстуры реализован метод идентификации текстур на основе мультифрактальных признаков и отклика обобщенного гребенчатого фильтра.

На основе предложенных решений был разработан программный модуль сегментации для СКРЗО интеллектуальных информационных систем медицинской диагностики. Проведена апробация разработанного модуля сегментации в диагностической медицинской системе в ООО «ЭЛАСКО-АРНИКА» (г. Одеса). Показано, что его использование позволило повысить достоверность диагностических решений, что подтверждено соответствующим актом внедрения.

Ключевые слова: текстурная сегментация, точность сегментации, спектрально-статистическая текстура, детекторные методы сегментации, классификационные методы сегментации, матрица неточностей, векторно-разностный метод сегментации.

Підписано до друку 04.03.2021 р.
Формат 90×60/16. Папір офсетний
Об'єм 1,56 ум. друк. арк.
Замовлення №0403/01.
Тираж 100 прим.

Надруковано з готового оригінал-макету
ФОП Побута М.І.
65044, м. Одеса, пр-т Шевченка, 1а