

Вінницький національний технічний університет

Софина Ольга Юріївна

УДК 681.3:535

**МЕТОДИ ФІЛЬТРАЦІЇ ТЕКСТУРОВАНИХ ЗОБРАЖЕНЬ У ЗАДАЧАХ
РОЗПІЗНАВАННЯ ТА КЛАСИФІКАЦІЇ**

Спеціальність 01.05.02 – Математичне моделювання та обчислювальні методи

АВТОРЕФЕРАТ
дисертації на здобуття наукового ступеня
кандидата технічних наук

Вінниця – 2010

Дисертацією є рукопис

Роботу виконано у Вінницькому національному технічному університеті Міністерства освіти і науки України

Науковий керівник

доктор технічних наук, професор
Кветний Роман Наумович,
Вінницький національний технічний університет,
завідувач кафедри автоматичної та інформаційно-
вимірної техніки

Офіційні опоненти:

доктор технічних наук, професор
Кожем'яко Володимир Прокопович,
Вінницький національний технічний університет,
завідувач кафедри лазерної і оптоелектронної техніки;

доктор технічних наук, старший науковий співробітник
Русин Богдан Павлович,
Фізико-механічний інститут ім. Г. В. Карпенка
НАН України, м. Львів, завідувачий відділом методів та систем
обробки, аналізу та ідентифікації зображень

Захист відбудеться «11» червня 2010 р. о 12⁰⁰ годині на засіданні спеціалізованої вченої ради Д 05.052.01 у Вінницькому національному технічному університеті за адресою: 21021, м. Вінниця, вул. Хмельницьке шосе, 95, ГУК, ауд. 210.

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

Автореферат розіслано «06» травня 2010 р.

Вчений секретар
спеціалізованої вченої ради

С.М. Захарченко

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність теми. Текстуrowані зображення (текстури) є двовимірними полями з однотипною структурою. Зазвичай це природні об'єкти: поверхні лісових масивів, моря, гір, пустель, а також поверхні об'єктів в текстильній, металообробній, хімічній, харчовій промисловості. Класифікація текстуrowаних зображень та визначення неоднорідностей є основними задачами систем автоматичного контролю на виробництві та в системах моніторингу стану об'єктів. На основі сукупності методів та технічних пристроїв для вимірювання та обробки сигналів зображень сформувався і стрімко розвивається новий напрямок вимірювальної техніки, що в англійській літературі визначено як *visual basing measurements* – “відеовимірювання”. Як і в звичайних вимірюваннях, у відеовимірюваннях потрібно порівнювати зображення об'єкта з еталоном. В якості еталону можуть слугувати взірцеві зображення, якщо об'єкт статичний, або математична модель об'єкта, якщо останній є динамічним. На сьогодні не існує єдиного підходу до розв'язання задач створення моделей і кожна конкретна проблема вимагає розробки методів і алгоритмів відповідно до характерних ознак зображень. Значний вклад у розвиток методів аналізу текстуrowаних зображень внесли такі вчені: F. Ade, K.J. Anil, A.C. Bovik, S-T. Bow, В. Главач, G. Doretto, R. Gonzales, R. Woods, R. Haralick, Y. Huang, S. Lazebnik, S. Soatto, В. Сойфер, М. Tuceryan, М. Шлезингер, Л. Ярославський.

В даній роботі розглянуто методи фільтрації текстур з метою їх розпізнавання та виявлення неоднорідностей. Фільтрація текстуrowаного зображення полягає у визначенні належності елементів зображення до заданого типу текстури за допомогою моделі, що описує зі заданою точністю структуру зображення. Важливо, щоб параметри моделі були статичні, а їх число було мінімальним. Тому актуальною є задача представлення текстур параметрами, які є інваріантами зміни текстури в просторі та часі.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами. Дослідження, результати яких представлено в дисертації, проводились протягом 2007-2009 рр., згідно планів наукових досліджень кафедри Автоматики та інформаційно-вимірювальної техніки Вінницького національного технічного університету та в рамках Держбюджетної науково-дослідної роботи «Методологія розв'язання задач багатовимірної інтерполяції в просторі і часі» (№ ДР 0107U002092) у відповідності до пріоритетних напрямків розвитку науки і техніки в Україні; та в рамках господарсько-договірної роботи «Розробка математичного та алгоритмічного забезпечення для розпізнавання об'єктів на динамічному фоні» (№ ДР 0109U004169).

Мета і завдання дослідження. Метою дослідження є підвищення ефективності фільтрації текстуrowаних зображень за допомогою моделей, що враховують динамічні властивості сигналу зображення.

Для досягнення поставленої мети розв'язати такі завдання:

1. Провести порівняльний аналіз існуючих методів фільтрації текстуrowаних зображень та дати обґрунтування підходу до розробки методів фільтрації, що поєднують властивості вибілюючих фільтрів та розкладання на систему власних векторів.
2. Розробити математичну модель текстуrowаного зображення як інваріантну до зсуву на основі гармонійного розкладання, визначити вимоги до такої моделі.
3. Дослідити фільтрацію текстур за допомогою відомих моделей: статистичної, авторегресії – лінійної, нелінійної, з квадратичною складовою, зовнішнім фактором впливу, з додатковими умовами симетрії; моделі на основі формуючого фільтра із використанням прямої та інверсної схем.
4. Розробити методи визначення параметрів моделей із врахуванням особливостей зображень, що обробляють. Розглянути питання адаптації моделей до властивостей текстуrowаного зображення, оптимізації моделей за обсягом операцій.
5. За допомогою апробації методів чисельним моделюванням дослідити вплив значень параметрів моделей – порядку, розміру опорної області зображення та значення дисперсії похибки, на ефективність та якість фільтрації.
6. На основі розроблених математичних моделей, створити програмне забезпечення для пошуку та моніторингу морських ссавців та апробувати його на реально поставлених прикладах.

Об'єкт дослідження – процеси фільтрації текстурованих зображень та їх класифікації, визначення сторонніх об'єктів.

Предмет дослідження – моделі текстурованих зображень у вигляді вибілюючого та інверсного фільтрів.

Методи дослідження: Методи чисельного моделювання та статистичного аналізу з використанням гармонійного розкладання та спектрального аналізу для розробки методів фільтрації текстурованих зображень та тестових випробовувань отриманих методів.

Наукова новизна одержаних результатів. Отримано нові результати у напрямку створення методів фільтрації текстурованих зображень з метою розпізнавання та класифікації:

- Вперше запропоновано метод фільтрації текстурованого зображення, особливістю якого є формування сигналу простої форми шляхом визначення та вилучення власних коливань текстури, доведено, що метод дозволяє розв'язувати задачі розпізнавання та класифікації використовуючи оптимальне число параметрів моделі зображення.

- Запропоновано модель авторегресії з фактором автозбудження, яка, на відміну від відомої, характеризується підвищеною чутливістю до сигналів сторонніх об'єктів текстури і тому дає можливість розпізнавати невеликі за розміром сторонні об'єкти, а також ті, що мало відрізняються від текстурованого фону за кольором.

- Вперше запропоновано модель двовимірної авторегресії з симетричним вектором параметрів, що відображає спрощену умову факторизації двовимірного поліному двома симетричними одновимірними, а також запропоновано двовимірну гармонійну модель на основі двох симетричних одновимірних поліномів, які знайдено за умов лінійної та унітарної симетрії, що забезпечує можливість виконувати гармонійне розкладання сигналів з розривами фази.

- Отримано новий клас базисів функцій на основі власного по відношенню до сигналу зображення ядра найбільш значимих резонансних гармонік, які є адаптованими до спектральних властивостей сигналу зображення і дозволяють виконувати фільтрацію в спектральній області за допомогою швидкого алгоритму спектрального перетворення з можливістю адаптації фазового спектру сегментів зображення до базового, що забезпечує підвищення якості фільтрації та зменшує обсяг операцій в 4 і більше разів.

- Запропоновано новий метод фільтрації квазі-періодичних текстур на основі апроксимації принциповими гармонійними складовими, який дозволяє залишити неспотвореними слабкі інформативні сигнали і відтворити їх із підвищеною якістю відображення, на відміну від відомих, менш складний у реалізації, оскільки оперує з невеликими за розміром сегментами зображення.

Практичне значення одержаних результатів. На основі розроблених методів створено програмне забезпечення для фільтрації, розпізнавання та класифікації текстурованих зображень. Виконано тестування програмного забезпечення за допомогою зображень, різних за типом – динамічні поверхні, геометричні текстури, біологічні та гранульовані матеріали. Розроблені методи та програмне забезпечення можуть бути застосовані для розв'язання таких практичних задач, як моніторинг екології, безконтактний контроль якості квазіоднорідних матеріалів, виявлення сторонніх об'єктів. Розроблений в даній роботі метод інверсної резонансної фільтрації текстурованого фону впроваджено в програмне забезпечення, що використовується компанією “Advanced Coherent Technologies” (La Jolla, California, USA) для моніторингу китів в акваторіях, які прилягають до морських портів та військово-морських баз, з метою попередження враження морських тварин технічними засобами. Досліджено фільтрацію текстур біологічного походження та у вигляді гранульованих матеріалів для перспективних розробок компаній “ІнноВінн” та “Спільна справа” (м. Вінниця, Україна). Результати дисертації також впроваджено у навчальний процес кафедри автоматики та інформаційно-вимірювальної техніки ВНТУ.

Особистий внесок здобувача. Робота виконана самостійно. У роботі [1] запропоновано модель авторегресії із варіацією функції цілі, у роботах [2-4] досліджено нелінійні моделі фільтрів, у роботах [1,5,10,12] запропоновано метод розрахунку інверсного резонансного фільтру та досліджено його роботу, у [6] запропоновано метод фільтрації за допомогою

принципових компонент спектру, у роботах [7,8] розроблено модифікацію методу визначення параметрів моделі авторегресії з врахуванням умови унітарної симетрії, у [9] запропоновано базис функцій з власним ядром по відношенню до сигналу зображення та швидкий алгоритм реалізації інверсного резонансного фільтра, у роботі [11] розроблено гармонійну модель текстури та метод фазової адаптації спектру.

Апробація результатів дисертації. Результати були представлені на:

- Всеукраїнському конкурсі наукових робіт з напрямку «Інформатика і кібернетика», де робота була нагороджена дипломом переможця II ступеня. – м. Вінниця, 2007;
- XXXVI, XXXVII, XXXVIII науково-технічних конференціях професорсько-викладацького складу, співробітників та студентів Вінницького національного технічного університету з участю працівників науково-дослідницьких організацій та інженерно-технічних працівників підприємств м. Вінниці та області. – м. Вінниця, 2007, 2008, 2009;
- міжнародній конференції “IEEE Instrumentation and Measurement Technology Conference”. – м. Варшава, Польща, 2007;
- III-й міжнародній науково-технічній конференції “Датчики, приборы и системы – 2007”. – м. Ялта, 2007;
- міжнародній конференції “Контроль і управління в складних системах (КУСС-2008)”. – м. Вінниця, 2008;
- міжнародній конференції “AUVSI’s Unmanned Systems Europe 2009” . – La Spezia , Italy, 2009;
- міжнародній науково-практичній конференції “Обработка сигналов і негауссівських процесів”. – м. Черкаси, 2009.

Публікації. За результатами виконаних досліджень опубліковано 12 наукових праць, з них: 7 [1 – 6, 9], видані у науково-технічних журналах, рекомендованих згідно переліку ВАК України, 3 у збірниках праць науково-технічних конференцій [7, 10, 12], 2 публікації у вигляді препринтів [8, 11].

Структура і обсяг дисертації. Дисертаційна робота складається зі вступу, чотирьох розділів, висновків по роботі, списку використаних джерел, додатків. Основний зміст викладено на 109 сторінках друкованого тексту, містить 44 рисунка, 1 таблицю. Список використаних джерел включає 114 найменувань. Загальний обсяг 134 сторінки.

ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

У вступі обґрунтовано актуальність теми дисертації, зазначено її зв'язок з науковими програмами, планами та темами, сформульовано мету та завдання досліджень, охарактеризовано наукову новизну та практичне значення одержаних результатів, надано інформацію про їх впровадження, апробацію та публікації.

У першому розділі на основі ідеалізованої моделі текстурованого зображення розміром у вигляді тензорного добутку двох матриць

(1)

де матриця розміром складена з одиничних елементів із незначними флуктуаціями значень, матриця **B** розміром є ядром текстури, розглянуто відомі методи аналізу текстурованих зображень та дано їх порівняльний аналіз. Як видно з виразу (1), текстура має певну періодичність і характерну структуру, що задана матрицею-ядром. У випадку стохастичних текстур вираз (1) відображає кореляційну залежність елементів зображення, у випадку динамічних текстур відбувається періодичний зсув рядків та стовпців матриці **B** у часі або просторі.

Статистичні методи аналізу текстур оснований на байєсовому аналізі та марківських моделях умовних випадкових процесів, що представлені функціями розподілу градації сірого кольору текстурованих зображень, а також на кореляційному аналізі взаємних значень та координат елементів зображень, що знайшло відображення в методах co-occurrence matrix, Q-препарування та W-спектру зв'язності. Методи байєсового та марківського аналізу не є чутливими до незначних за розміром відхилень текстури, адже функції ймовірності є

інтегральними характеристиками властивостей зображення, також їх додатково згладжують операціями інтегрування. У випадку двовимірних масивів даних, функції ймовірності, умовні та безумовні, мають значний об'єм, що ускладнює аналіз. Заміна їх гаусовими призводить до найпростішого з методів К-середніх. Кореляційні методи ефективні при розв'язанні задач сегментації та структурного розпізнавання елементів зображень статичного типу.

Структурні методи аналізу текстур використовують геометричні та структурні примітиви або статистичну кластеризацію. Найбільш поширеним є фрактальний аналіз. На результат такого аналізу не впливає колір та контрастність об'єкта по відношенню до фону, впливає лише площа, яку займає шуканий об'єкт на зображенні. В цьому полягає і недолік даного підходу – за допомогою фрактального аналізу неможливо розпізнавати об'єкти, що є близькими за розміром до структурних елементів фону. Більш універсальним є метод на основі ієрархічного виявлення геометричних об'єктів різної форми та формування аналітичних ознак об'єктів. Даний метод та інші структурні методи аналізу застосовують в основному для виявлення характерних ознак зображення з метою розпізнавання та класифікації. Для розв'язання задачі фільтрації текстурованого зображення, особливо динамічного, вони не підходять.

Аналіз текстур за допомогою спектральних перетворень та декомпозицій враховує те, що спектральні компоненти мають, як правило, менший діапазон змін і тому полегшують класифікацію текстур. Основою для ефективного розкладання зі значно меншим числом компонент у порівнянні зі зображенням є те, що ранг матриці текстури (1) визначається рангом матриці-ядра **V**, матриця **T** має ранг рівний одиниці. Однак, дані властивості мають місце за умови, що спектральне перетворення здійснюється в базисі функцій, що є погодженими зі структурою сигналу зображення. Відомо декілька підходів до утворення узгоджених базисів та декомпозиції на прості складові: 1) розкладання по системі власних векторів зображення або його кореляційної матриці; 2) модальний аналіз; 3) розкладання по незалежним компонентам; 4) синтез базисів функцій за допомогою вейвлетів та їх двовимірних узагальнень, функцій Габора та інших. Найбільш важливою характеристикою узгодженого базису є його інваріантність до зсуву зображення (1), або його початкової фази. Такою властивістю володіє розкладання по системі власних векторів зображення, але воно може бути надто об'ємним. Показано, що такі популярні методи, як вейвлет-аналіз та його двохвимірні варіанти – ridgelet, curvelet перетворення, не є оптимальними для аналізу текстур, тому що не забезпечують розмір спектру аналогічний рангу матриці **V** в (1).

Аналіз текстур за допомогою фільтрів близький за змістом до спектральних перетворень та декомпозицій на складові, оскільки в якості характеристик фільтрів можуть виступати ті ж функціональні базиси або ряди. Суттєвою відмінністю є те, що фільтрацію виконують за допомогою оператора згортки. Найпростішими є банки вузько-смужових фільтрів, що розділяють сигнал зображення на компоненти з різними частотами флуктуацій. Принципово новий підхід до фільтрації полягає в тому, що в якості характеристики фільтрів використовують власні вектори кореляційної матриці зображення, які відповідають найбільшим власним значенням. Близьким за змістом є підхід, де замість власних векторів використовують емпіричні моди поверхні текстури або їх комплексні аналоги, що знаходять за допомогою перетворення Гілберта-Хуанга. Розглянуті методи фільтрації мають один загальний недолік – для розв'язання задач розпізнавання та класифікації кожного типу текстури необхідна група або банк фільтрів, необхідно аналізувати набір параметрів.

Фільтрація текстур на основі динамічних моделей дозволяє характеризувати кожен тип текстури одним фільтром, що відображає динаміку сигналу текстури у просторі та часі. Найбільш загальну лінійну динамічну модель текстури визначають рівняння у просторі стану, які за певних допущень можна представити рівняннями авторегресії (AR) та авторегресії з ковзним середнім. Для фільтрації текстур доцільно використання моделі AR за інверсною схемою, коли входом фільтра є сигнал зображення, а виходом – похибка моделі, яка за статистичними властивостями близька до білого шуму і тому характеризується єдиним параметром – дисперсією. Лінійні моделі доповнюють нелінійними складовими у вигляді суми

змішаних добутків значень пікселів або тільки їх квадратів. Для фільтрації слабких циклостаціонарних текстур на фоні більш потужного шуму використовують модель у вигляді world-декомпозиції, що включає стохастичну складову та гармонійний ряд. Інший тип моделей утворюють за допомогою формуючих фільтрів, входом яких є відомий сигнал збудження, а виходом – сигнал зображення. Зображення можна класифікувати відновивши відомий сигнал збудження за допомогою інверсного до формуючого фільтра.

Критичний аналіз методів показує, що розв'язання задачі фільтрації текстурованого зображення з метою виявлення аномалій, розпізнавання та класифікації найкраще здійснювати за допомогою фільтрів на основі моделей AR за інверсною схемою та за допомогою фільтра, інверсного до формуючого. Основою моделей є оптимальне представлення текстури в базисі власних коливань, яке апроксимує та екстраполює її поверхню. За такої умови фільтрація не залежить від початкової фази зображення, що дає можливість аналізувати як статичні, так і динамічні текстури. Критеріями відповідності текстури фільтру можуть служити дисперсія похибки AR або параметри сигналу збудження формуючого фільтра.

У другому розділі розроблено методи фільтрації текстурованих зображень на основі гармонійної моделі в базисі резонансних (власних) коливань.

Гармонійна модель текстурованого зображення у вигляді матриці (1) утворена за допомогою двохвимірних перетворень Фур'є матриць \mathbf{T} та \mathbf{B} ; де – оператор дискретного перетворення Фур'є (DFT) вказаного нижнім індексом розміру, \mathbf{B} – спектральна матриця, нижні індекси вказують на базис та матрицю даних. На основі наведених перетворень загальна матриця зображення (1) може бути представлена як. Даний вираз показує, що якщо базис DFT узгоджений зі структурою текстури, то гармонійне розкладання за інформативністю аналогічно розкладанню по власним або сингулярним векторам – розмір нетривіальної спектральної матриці відповідає рангу матриці текстури. Показано, що дане спектральне представлення є інваріантним до операцій циклічного зсуву відносно осей координат. Отже, для оптимального представлення довільних текстур необхідно створити узгоджений з її структурою базис DFT. Дану задачу можна розв'язати шляхом утворення динамічної моделі текстури замінивши циклічний зсув оператором лінійного зсуву (LSO) у вигляді матриці Фробеніуса, що супроводжує характеристичний поліном (ХП), який має корені, де – власні або резонансні частоти. LSO відносно осей координат мають таке факторизоване спектральне представлення: $\mathbf{L} = \mathbf{V} \mathbf{\Lambda} \mathbf{V}^{-1}$, де \mathbf{V} – псевдоінверсія. Спектр матриці-ядра в (1) інваріантний до лінійного зсуву, що можна представити у власному базисі LSO як де t, τ – параметри зсуву. Періодичність текстури можна визначити умовою, де m та n довільні цілі числа. Із даної умови слідує, що корені ХП повинні знаходитись на одиничному колі в комплексній області. Умова періодичності дозволяє представити текстуроване зображення \mathbf{D} у перевизначеному базисі, що заданий матрицями, \mathbf{V} , як. Лінійний зсув, на відміну від циклічного, є природним для багатьох моделей текстур – статичних та динамічних. Отже, власне гармонійне розкладання забезпечує оптимальне представлення текстурованого зображення з точки зору числа нетривіальних елементів спектральної матриці.

Фільтрацію текстурованих зображень на основі моделей авторегресії виконують відповідно до виразів:

– лінійна AR, де – дискретні відліки сигналу зображення, – коефіцієнти лінійного передбачення, – відліки похибки – білого шуму, – параметри, що задають порядок моделі умовно по координатам;

– нелінійна AR (NAR), де – коефіцієнти та порядок нелінійної складової;

– NAR з квадратичними складовими (QNAR).

Послідовність фільтрації зображення така.

– В текстурованому зображенні вибираємо базову область розміром, що є вільною від сторонніх об'єктів.

– Вибираємо порядок фільтра та визначаємо параметри моделей.

– Виконуємо фільтрацію та визначаємо параметри похибки: середні значення, дисперсії, де, – кількість складових кольору зображення.

– Визначаємо приналежність зображення до текстури за допомогою статистичного фільтру, де $\{ \}$ – елементи оригінального та фільтрованого зображень, $\{ \}$ означає логічне значення якщо умова в дужках виконана і якщо ні, – порогові значення, в залежності від вимог до чутливості фільтра.

Результати фільтрації за допомогою моделі AR були незадовільні тому, що модель AR відображає частотні властивості сигналів і якщо градація кольору задана зміщенням постійної складової, тобто сигналу з нульовою частотою, то модель її не виявить, так як частота при цьому не змінюється. Чутливість до постійної складової NAR та QNAR дещо краща, але якість фільтрації була також незадовільна. Щоб підвищити чутливість до сигналу сторонніх об'єктів вектор параметрів моделі AR повинен задовольняти умову унітарної симетрії. У випадку одновимірної моделі AR ця умова полягає в тому, що вектор коефіцієнтів ХП визначають як симетричний відносно центрального елемента. Ця умова відповідає властивості періодичності текстури і тому симетризована модель більш чутлива до порушень періодичності. Двовимірний поліном можна створити як тензорний добуток двох одновимірних –. Якщо одновимірні поліноми симетричні, то симетричним є і двовимірний поліном, його вектор коефіцієнтів має такий вигляд: . Однак, симетризована модель AR відображає лише частотні властивості, як і звичайна модель. Тому найкращі результати одержано за допомогою симетризованої моделі QNAR. Для визначення її параметрів створено таку систему рівнянь:

де матриця така ж, як, тільки складена з квадратичних значень, – вектори-стовпці, індекси вказують на початковий елемент, вектор такий самий за структурою, як i . Систему рівнянь розв'язано за методом найменших квадратів. В ряді робіт розроблено та досліджено моделі AR і NAR з додатковим сигналом зовнішнього фактору – $eXogenous$, відповідно моделі ARX та NARX. Запропоновано сигнал впливу визначати таким чином, щоб підвищити чутливість моделі AR до сторонніх об'єктів, тобто збільшити сигнал похибки при наявності стороннього сигналу. Оскільки при синтезі моделі AR функцією цілі є мінімізація дисперсії шуму похибки, то було введено варіацію цілі за допомогою параметру. Рівняння AR з врахуванням варіаційного параметру має такий вигляд: де – збуджені коефіцієнти. Параметри моделі визначено для заданого значення варіації як відомої константи. За допомогою чисельних експериментів встановлено, що при значеннях чутливість моделі ARX до сторонніх об'єктів значно підсилюється. При інших значеннях параметру варіації модель втрачає стійкість, що спричиняє велику кількість помилок. Отже, отримано модель ARX з фактором впливу. Зміст сигналу фактору впливу полягає в тому, що за наявності стороннього сигналу модель ARX стає нестабільною, сигнал похибки збуджується. Оскільки фактором впливу є сигнал зображення, то одержану модель можна визначити як AR з автовпливом, її також можна симетризувати.

Метод інверсної резонансної фільтрації полягає в тому, що текстуроване зображення представлено як сигнал на виході формуючого фільтра виду, де – перехідна характеристика фільтра, – стохастична складова, – сигнал збудження – функція Хевісайда, задача полягає у відновленні сигналу збудження шляхом інверсної фільтрації власних коливань сигналу зображення. Очевидно, що сигнал збудження має просту форму і його аналіз аналогічний аналізу сигналу похибки моделей AR. Для визначення перехідної характеристики зображення представлено рядом Фур'є, де – амплітуди двовимірних гармонічних функцій, , , – резонансні частоти власних коливань поверхні фону, – відліки шуму похибки моделі, P, Q – параметри, що задають порядок моделі по координатам OX, OY . Перехідну характеристику інверсного резонансного фільтра (ІРФ) визначено як, де. Схему фільтрації можна представити виразом, де E – константа, $\zeta_{i,j}$ – відліки похибки. Фільтрація за допомогою ІРФ відрізняється тим, що його перехідна характеристики враховує частоту та амплітуду власних коливань зображення, що забезпечує якість фільтрації значно вищу порівняно з фільтрами на основі моделей AR.

Для визначення параметрів власних коливань запропоновано стійкий до розривів фази та похідної сигналу зображення метод на основі лінійної симетрії кореляційної матриці з

додатковою умовою симетрії ХП. Одержано систему рівнянь для визначення векторів коефіцієнтів ХП \mathbf{a}_x , \mathbf{a}_y та їх коренів:

де $r_{i,k}$ – елементи кореляційних матриць $\mathbf{R}_x^{(2)}$ та $\mathbf{R}_y^{(2)}$, що є складовими двовимірної кореляційної матриці зображення $\mathbf{R}^{(2)}$, P парне та, , для, – елементи оберненої кореляційної матриці.

Рис. 1. Текстуроване зображення цифрової голограми

Рис. 2. Відновлене зображення

Рис. 3. Відновлене зображення з усунутим опорним полем

Фільтрація текстур за методом апроксимації принципними компонентами призначена для визначення слабких інформативних сигналів, що масковані потужним сигналом текстурованого квазі-періодичного фону. Одним із прикладів такої задачі є проблема усунення впливу потужного опорного променя в цифровій голографії з метою підсилення хвиль інтерференції та дифракції, (ХІД) що формують зображення. Приклад цифрової голограми розміром 1024×1024 пікселів представлено на рис. 1. Зображення, що відновлено за методом Френеля, представлено на рис. 2. Голограма має вигляд квазірегулярної текстури, тому власні гармоніки коливань можуть бути визначені для всієї поверхні. Враховуючи амплітудну та фазову неоднорідність, зображення може бути поділено на набір сегментів, кожен з яких може бути апроксимований двовимірним рядом Фур'є із врахуванням сегментації зображення., де – вибірки, що апроксимують поверхню на рис. 1 розміром $T_x \times T_y$, P , Q – порядок ряду, , – амплітуди двовимірних гармонійних функцій, – сигнал похибки, що в даному випадку є корисною частиною зображення, тому що включає ХІД. Значення порядку P і Q повинні бути вибрані таким чином, щоб ряд відображав характеристики лише опорної хвилі. Для цього потрібно виконання умови. Голограмою ХІД є сигнал похибки апроксимації $e_{i,j}$. Відновлену голограму ХІД представлено на рис. 3. Усуненням опорного променя покращено візуалізацію та роздільну здатність зображення – чітко видно ручку амфори та малі тестові об'єкти на передньому плані. Параметри фільтра,

У третьому розділі розглянуто проблеми адаптації та оптимізації процесу фільтрації текстурованих зображень.

Фільтрація зображень в спектральній області дозволяє суттєво зменшити обсяг операцій у порівнянні з фільтрацією в просторовій області за допомогою операції згортки. Така фільтрація є послідовністю матричних операцій, де спочатку виконуються дії, що в дужках, \mathbf{H} – спектр перехідної характеристики, \mathbf{U} , \mathbf{D} – фільтрована та оригінальна матриці сегментів зображення розміром, що відповідає порядку фільтра. Однак, як показали тестові випробовування, фільтрація в спектральній області характеризується тим, що неоднорідності фільтр виявляє у вигляді сегментів. Також можливі помилки у вигляді сегментів, що затрудняє їх класифікацію. Тому необхідно кожний сегмент спектру адаптувати до базового, що використовується для порівняння, і таким чином, компенсувати зсув фази відносно осей координат. Також необхідно адаптувати до сигналу зображення базис функцій та оптимізувати його за обсягом операцій з використанням швидкого алгоритму.

Адаптація спектру до зсуву координат базується на властивості інваріантності спектру текстури в базисі власних коливань до зсуву координат. Позначимо матрицю спектру базової області як $\mathbf{A}^{(0)}$. Спектр деякого сегменту \mathbf{A} можна адаптувати до спектру базового сегменту за допомогою варіації фази матриці \mathbf{A} , тоді адаптований сегмент зображення буде мати такий вигляд: Для визначення фазових множників складено варіаційне рівняння та розв'язано за умови ітераційним шляхом.

Адаптація та оптимізація базису власного гармонійного розкладання доцільна, коли фільтр високого порядку (64×64 та більше). Для фільтрації мають значення найбільш значущі

власні гармоніки, що відображають періодичність текстури та структуру її матриць-ядер і мають приблизно однакове значення для різних сегментів зображення. Синтезувати адаптований базис можна використовуючи тензорний добуток матриць, що складена з P принципівих компонент, та звичайного DFT, де \mathbf{F} – матриця адаптованого базису. Дану матрицю можна представити як добуток розріджених матриць

Аналогічне представлення може бути визначено і для оберненого перетворення. Отриманий базис DFT з власним ядром є адаптованим до спектральних властивостей сигналу і оптимальним за обсягом обчислювальних операцій. Так, звичайне перетворення \mathbf{F}_N включає N^2 операцій множення та додавання, адаптоване і оптимізоване – операцій.

Оптимізація процесу фільтрації полягає в тому, що за допомогою фільтрації в спектральній області здійснюють швидкий аналіз зображення та виявляють сегменти з аномаліями. Виявлені сегменти та їх окіл фільтрують в просторовій області для визначення точних границь сторонніх об'єктів.

У четвертому розділі розглянуто фільтрацію текстурованих зображень в задачі моніторингу морських ссавців та інших практичних задачах.

Загальна характеристика задачі та метод розв'язання. Актуальною є проблема створення попереджувальної системи, що дозволяє відстежувати появу морських ссавців в небезпечних зонах навколо акваторій морських портів та військово-морських баз, у районах проведення військових навчань. Ефективним є цілодобовий контроль в широкому ракурсі простору за допомогою мережі камер із автоматичним розпізнаванням об'єктів спостереження в реальному масштабі часу. Тому необхідні методи та алгоритми фільтрації водної поверхні та розпізнавання ссавців, які можливо реалізувати за допомогою елементів програмованої логіки.

Рис. 4. Виявлення кита, вид зверху

Рис. 5. Виявлення кита, вид збоку

Вибір методу фільтрації текстурованого фону у вигляді морської поверхні проведено за допомогою декількох прикладів із різним ракурсом спостереження. На рис. 4 та 5 представлено: а) два таких приклади; б) результати фільтрації методами QNARS – симетризованої AR з квадратичною не лінійністю; в) та г) ARAXS – симетризованої AR з автозбудженням та IPФ. Знайдено ймовірності визначення фону p_b та об'єкта p_o . На основі узагальненого інформаційного критерію І.В.Кузьміна визначено інформаційний критерій ефективності (IKE), де K_i – IKE для i -го методу, $i=1,2,3$ відповідно для QNARS, ARAXS, IPФ, I_i – об'єм інформації, що отримано в результаті фільтрації, – обсяг операцій на один піксель, ν_i – ймовірності визначення текстурованого фону та об'єкта за i -тим методом у випробовуванні m при числі випробовувань M , H – ентропія фільтрованого зображення. Одержано такі значення IKE для трьох методів: 0.0034; 0.0090; 0.0110. Дані результати демонструють перевагу IPФ для даного типу задач.

Програмне забезпечення для пошуку та моніторингу морських ссавців включає виконавчу частину та інтерфейс. Виконавча частина забезпечує фільтрацію за допомогою IPФ, статистичну фільтрацію, кореляційну фільтрацію похибок, класифікацію виявлених об'єктів за різницею гістограм розподілу градації сірого кольору, формування звіту у вигляді відео та текстового файлів. Також опціонально здійснюється підключення медіанного фільтру та фільтру тренду. Інтерфейс забезпечує підключення файлу даних, конфігурацію та вибір параметрів виконавчої частини. Для визначення цільового об'єкта на фоні помилкових застосовано наступний алгоритм: 1) об'єкт визначають як множину S_o прилягаючих нетривіальних пікселів $\nu_{i,j}$, число яких задовольняє умову (більше деякого порогового значення); 2) об'єкт обмежений прямокутником $S_x \times S_y$, що відображає його розміри по двом координатам і представлений в L послідовних кадрах із деяким зміщенням, зв'язок об'єктів в послідовних кадрах характеризується коефіцієнтом логічної кореляції

де дужки $\{\}$ означають логічні значення “1” або “0” в залежності від виконання умови чи ні, I, K – координати геометричного центру об’єкта, верхні індекси в дужках вказують на номер кадру відносно того, що аналізують; 3) для об’єкта, що визначено як цільовий за умови $r > r_{lr}$, S_o доповнюють околом розміром, де $e = 5...10$, визначають гістограми розподілу значень пікселів в множинах S_o та S_e/S_o відповідно h_o та h_e , а також функцію диференційної гістограми щоб виявити, яким спектром градації сірого кольору відрізняється об’єкт від фону; 4) на основі диференційного спектру об’єкт класифікують як “whale”, “whale and blow”, “blow”. На рис. 6 та 7 представлено приклади розпізнавання об’єктів в двох ракурсах.

Рис. 6. Виявлення цільового об’єкта в трьох послідовних кадрах – верхній ряд, за допомогою ІРФ – середній ряд, кореляційного фільтра – нижній ряд

Рис. 7. Приклади розпізнавання за умов запису мультиспектральною камерою в різних спектрах, розпізнані об’єкти – нижній ряд

У додатках наведено акти впровадження результатів дисертаційної роботи.

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ ПО РОБОТІ

1. Для дослідження методів фільтрації текстурованого фону в задачах розпізнавання сторонніх об’єктів та класифікації текстур проведено аналіз літератури та систематизацію відомих методів. Встановлено, що сучасні методи засновані на побудові динамічних моделей текстур, адаптованих до їх структури базисів функцій та фільтрів. Найкраще текстуру характеризують власні вектори, що використовують для створення фільтрів.

2. На основі гармонійної моделі текстури доведено, що за умови узгодження базису гармонійних функцій із структурою текстури – її періодичністю та внутрішньою структурою матриці-ядра, базис власних або резонансних гармонік дозволяє отримати представлення текстури, що за числом значущих компонент аналогічне представленню в базисах власних або сингулярних векторів [11].

3. Резонансний гармонійний ряд характеризується поліноміальною моделлю, що пов’язана із процесом авторегресії. Дана модель за схемою інверсного фільтра дозволяє усунути складний сигнал текстури і отримати сигнал похибки у вигляді білого шуму. Дисперсія шуму дозволяє характеризувати текстуру. Досліджено лінійну, нелінійну моделі авторегресії та модель із квадратичними складовими. Дослідження показали, що фільтрація текстурованих зображень на основі моделі авторегресії слабо реагує на аномалії. Тому запропоновано модель із симетризованим вектором коефіцієнтів, що відображає властивості періодичності основних гармонійних складових текстури. Запропоновано також модель зі сигналом зовнішнього впливу, що відповідає умові варіації функції цілі – мінімальної похибки. Дана модель характеризується похибкою, що збуджується при появі сторонніх сигналів, що дає можливість виявляти слабкі неоднорідності [1-4].

Запропоновано метод визначення параметрів гармонік на основі моделі лінійної симетрії із додатковою умовою унітарної симетрії, що дозволило врахувати періодичність текстури та одержувати оцінки параметрів моделей із слабкою чутливістю до розривів фази сигналу зображення [7,8]

4. Задачу фільтрації текстурованих зображень представлено як обернену задачу визначення сигналу, що збуджує деяку лінійну динамічну систему і автоколивання якої утворюють структуру текстури [1,5,10,12]. На відміну від інверсної схеми фільтрів на основі моделей авторегресії, в даному випадку фільтр характеризується значно кращою якістю фільтрації текстурованого фону та чутливістю до аномалій, тому що він відображає амплітудно-частотні властивості сигналу текстури. Розглянуто питання оптимізації фільтрації в спектральній області шляхом фазової корекції спектру та утворення оптимального адаптованого до сигналу базису функцій [9].

5. Запропоновано метод фільтрації текстурованого фону типу fringe [6], що маскує слабкий інформативний сигнал, шляхом апроксимації принциповими резонансними

гармоніками. В результаті суттєво підвищено якість відображення та роздільну здатність зображення.

6. Відмітимо деякі переваги розглянутого методу фільтрації у порівнянні з відомими:
 - простота методу, кожному типу текстури відповідає один фільтр із вектором параметрів та дисперсією похибки моделі;
 - можливість ефективної реалізації в реальному часі із залученням мережі арифметичних пристроїв або швидкого алгоритму;
 - регульовані чутливість та розміри.

СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

1. Буняк О. Ю. Моделі динамічного фону в задачах розпізнавання об'єктів / Р. Н. Кветний, О. Ю. Буняк, Ю. А. Буняк // *Радіоелектронні і комп'ютерні системи*. – 2007. – №7(26). – С. 227-232.

2. Буняк О. Ю. Використання моделей двовимірного передбачення з квадратичною нелінійністю для розпізнавання об'єктів на динамічному фоні / Р. Н. Кветний, О. Ю. Буняк // *Вимірювальна та обчислювальна техніка в технологічних процесах*. – 2006. – №1. – С. 156-159.

3. Буняк О. Ю. Розпізнавання об'єктів на динамічному фоні за допомогою моделей двовимірного нелінійного передбачення / Р. Н. Кветний, О. Ю. Буняк // *Інформаційні технології та комп'ютерна інженерія*. – 2007. – №1. – С. 189-192.

4. Bunyak O. Objects recognition on dynamic background using two-dimensional prediction models with quadratic nonlinearity [Електронний ресурс] / R. Kvetny, O. Bunyak // *Наукові праці Вінницького національного технічного університету*. – 2007. – №1. – Режим доступу до журналу: www.nbu.gov.ua/e-journals/VNTU/2007-1/ukr/07krnwqn.pdf.

5. Bunyak O. Object recognition in image-based systems using resonance inverse filtering // *Вісник Черкаського державного технологічного університету*. – Спецвипуск, 2007. – С. 63-66.

6. Софіна О. Ю. Метод фільтрації текстурованого фону в цифрових голографічних зображеннях / Р. Н. Кветний, О. Ю. Софіна // *Вісник Вінницького політехнічного інституту*. – 2008. – №2. – С. 61-64.

* Буняк О.Ю. вважати Софіна О.Ю. у зв'язку з одруженням і зміною прізвища

7. Bunyak O. Location and Estimation Parameters of Weak Wave Packets in Noise / O. Bunyak, Yu. Bunyak // *IEEE Instrumentation and Measurement Technology Conference – IMTC-2007, Warsaw, Poland, May 1-3, 2007*. – 5 p.

8. Bunyak O. Location and Spectral Estimation of Weak Wave Packets on Noise Background [Електронний ресурс] / O. Bunyak, Yu. Bunyak // *Preprint arXiv: 0707.0181, July 2007*. – Режим доступу до архіву: <http://lanl.arxiv.org/ftp/arxiv/papers/0707/0707.0181.pdf>.

9. Софіна О. Ю. Оптимізація методу інверсної резонансної фільтрації в задачах розпізнавання об'єктів на текстурованому фоні [Електронний ресурс] / Р. Н. Кветний, О. Ю. Софіна // *Наукові праці Вінницького національного технічного університету*. – 2009. – №1. – Режим доступу до журналу: http://www.nbu.gov.ua/e-journals/VNTU/2009-1/2009-1.files/uk/09rnkotb_ua.pdf

10. Sofina O. A Cooperative Effort to Develop a Real Time Marine Mammal Detection and Tracking System [Електронний ресурс] / Yu. Podobna, R. Kvetny, J. Schoonmaker, Yu. Bunyak, O. Sofina, C. Boucher, V. Contarino // *AUVSI's Unmanned Systems Europe 2009 (La Spezia, Italy)*. – Режим доступу до журналу: <http://www.auvsi.org/use/proceedings/Podobna.pdf>. – 15p.

11. Sofina O. Textured patterns recognition using inverse resonance filtration [Електронний ресурс] / O. Sofina, Yu. Bunyak, R. Kvetny // *Preprint arXiv: 10.03.3266, March 2010*. – Режим доступу до архіву: <http://arxiv.org/ftp/arxiv/papers/1003/1003.3266.pdf>

12. Sofina O. Objects recognition using statistical analysis and filtration of textured dynamic background / O. Sofina, R. Kvetny // «Обробка сигналів і негауссівських процесів»: II Міжнародна науково-практична конференція, 25-29 травня 2009 р.: тези доповіді. – Черкаси, 2009. – С. 126.

АНОТАЦІЯ

Софина О. Ю. Методи фільтрації текстурованих зображень у задачах розпізнавання та класифікації. — Рукопис.

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 01.05.02 – математичне моделювання та обчислювальні методи. Вінницький національний технічний університет. — Вінниця — 2010.

У дисертації розглянуто проблеми фільтрації текстурованих зображень з метою класифікації типу текстур та виявлення неоднорідностей. Показано, що гармонійні ряди на основі власних коливань сигналу текстури забезпечують оптимальне за числом параметрів представлення текстур, аналогічне розкладанню по власним векторам. Удосконалено фільтрацію текстур за допомогою фільтрів на основі моделей авторегресії. Для відображення періодичності текстури введено додаткову умову симетричності двовимірного вектору параметру, що покращує фільтрацію основних гармонійних складових та підсилює чутливість до факторів порушення періодичності. Також, для відображення моделлю змін постійної складової сигналу введено нелінійну складову моделі у вигляді квадратів значень сигналу зображення. Підвищено чутливість моделі авторегресії до сторонніх сигналів за допомогою додаткового сигналу автовпливу, який визначено за умови варіації похибки моделі. Запропоновано метод фільтрації текстурованого фону зображення на основі моделі інверсного резонансного фільтра, де задачу фільтрації представлено як обернену по визначенню збуджуючого сигналу простої форми та розв'язано за допомогою розкладання по векторам резонансних гармонік. Удосконалено методику визначення параметрів резонансних гармонік за умов сигналу із розривами фази введенням умов лінійної та унітарної симетрії моделі зображення. Розглянуто питання оптимізації фільтрації в спектральній області шляхом фазової корекції спектру та утворення оптимального, адаптованого до сигналу базису функцій з власним по відношенню до сигналу ядром гармонійних функцій та швидким алгоритмом спектрального перетворення, який дозволяє зменшити об'єм операцій в чотири та більше разів. Запропоновано метод фільтрації квазі-періодичних текстур шляхом апроксимації принциповими гармонійними складовими. Метод дозволяє залишити неспотвореними слабкі інформативні сигнали та відтворити їх зі значно вищою якістю візуалізації та роздільною здатністю. Розроблено програмне забезпечення для фільтрації текстури у вигляді морської поверхні та розпізнавання морських ссавців, класифікації текстурованих зображень біологічного походження та гранульованих матеріалів.

Ключові слова: розкладання по власним гармонікам, модель авторегресії, інверсна фільтрація, двовимірний спектральний аналіз.

АННОТАЦИЯ

Софина О. Ю. Методы фильтрации текстурированных изображений в задачах распознавания и классификации. — Рукопись.

Диссертация на соискание учёной степени кандидата технических наук по специальности 01.05.02 – математическое моделирование и вычислительные методы. Винницкий национальный технический университет. — Винница. — 2010.

В диссертации рассмотрены проблемы фильтрации текстурированных изображений с целью классификации типа текстур и выявления неоднородностей. Показано, что гармонические ряды на основе собственных колебаний сигнала текстуры обеспечивают оптимальное по количеству параметров представление текстур, аналогичное разложению по собственным векторам или векторам сингулярного разложения. Такое представление имеет важные с точки зрения фильтрации свойства: инвариантность к сдвигу или начальной фазе текстуры; периодичность; простое аналитическое представление, позволяющее адаптировать

разложение в ряд к изображению произвольного размера, не изменяя спектральных коэффициентов. Параметрическое представление ряда по собственным гармоникам имеет вид модели авторегрессии. Рассмотрено фильтрацию текстур на основе этих моделей по инверсной схеме, когда целевым сигналом является ошибка предсказания. Фильтрацию текстур с помощью фильтров на основе моделей авторегрессии усовершенствовано при помощи таких методов. Для отображения периодичности текстуры введено дополнительное условие симметричности двумерного вектора параметров модели. Данное условие позволяет улучшить фильтрацию основных гармонических составляющих и повысить чувствительность к факторам, которые нарушают периодичность модели. Также, для улучшения чувствительности к изменению постоянной составляющей сигнала изображения введены квадратичные составляющие модели. Улучшена чувствительность модели авторегрессии к посторонним сигналам с помощью дополнительного фактора влияния. Сигнал фактора влияния определен из условия вариации функции ошибки модели. В результате получен фильтр, который возбуждается при обнаружении посторонних сигналов. Предложено метод фильтрации текстурированного фона изображения на основе модели инверсного резонансного фильтра. Задачу фильтрации представлено как обратную по определению сигнала простой формы, который возбуждает формирующий фильтр текстуры. Задачу решено с помощью разложения по векторам резонансных гармоник. Данное решение, в отличие от известного по методу Винера с использованием дискретного преобразования Фурье, характеризуется тем, что в разложении Фурье по собственным или резонансным гармоникам отсутствуют составляющие, близкие к нулю, что позволяет получать устойчивое решение. Инверсный резонансный фильтр выполняет фильтрацию сигнала текстуры на основе анализа ее амплитудно-частотных свойств, тогда как фильтры на основе моделей авторегрессии фильтруют только с учетом частотных свойств сигнала. Усовершенствовано методику определения параметров резонансных гармоник в условиях, когда сигнал имеет разрывы фазы и производной. Параметры резонансных гармоник определяются как корни характеристических полиномов динамической модели текстуры относительно осей координат. Коэффициенты полиномов найдены из условия линейной симметрии корреляционной матрицы изображения. Введено также дополнительное условие унитарной симметрии, которое отображает периодические свойства сигнала текстуры. Рассмотрены вопросы оптимизации фильтрации изображения с использованием фильтров в спектральной и пространственной областях. Фильтрация в спектральной области позволяет уменьшить число вычислительных операций, однако характеризуется чувствительностью к слабым неоднородностям текстуры. Для устранения этого недостатка предложена процедура фазовой коррекции спектра фрагментов изображения по отношению к образцовому. Для фильтрации сложных текстур необходима разработка фильтров высокого порядка (64-го и выше). Для этого необходимо определить такое же число резонансных частот, что может быть связано с решением некорректных задач. Поэтому предложено метод синтеза адаптированного к сигналу базиса функций на основе ядра из главных резонансных частот и дискретного преобразования Фурье. Полученный базис обладает алгоритмом быстрого преобразования, который позволяет уменьшить объем операций в четыре и больше раз. Предложено метод фильтрации квази-периодических текстур путем аппроксимации принципиальными гармоническими составляющими. Метод позволяет оставить неискаженными слабые информативные сигналы и воссоздать их со значительно высшим качеством визуализации и разрешающей способностью. Метод использован для устранения опорного луча и усиления волн дифракции и интерференции в цифровой голографии. Разработано программное обеспечение для фильтрации текстуры в виде морской поверхности и распознавания морских млекопитающих. Разработан корреляционный метод для устранения ошибочных объектов, а также алгоритм классификации распознанных объектов на основе дифференциального распределения градаций цвета объекта и окружающего фона. Рассмотрено применение инверсного резонансного фильтра для фильтрации и классификации текстурированных изображений биологического происхождения и гранулированных материалов.

Ключевые слова: разложение по собственным гармоникам, модель авторегрессии, инверсная фильтрация, двумерный спектральный анализ.

ABSTRACT

Sofina O. Yu. Methods of textured images filtration in tasks of objects recognition and classification. — A manuscript.

Thesis for achievement of a candidate's degree on technical sciences on a specialty 01.05.02 – mathematical modeling and numerical methods. Vinnytsia national technical university. — Vinnytsia. — 2010.

The thesis is devoted to solving the problem of textured images filtration for the texture type classification and heterogeneities identification. It was showed, that harmonic series on the basis of eigen fluctuations of texture signal provides an optimal number of parameters for the texture presentation, which is analogues to the eigen vectors decomposition. Texture filtration by autoregression models was improved. For texture periodicity reflection the new condition of two-dimensional parameter vector symmetrization was offered. It improves the filtration of main harmonic components and enforces the sensitivity to factors that destroy texture periodicity. Also, for reflection of constant signal values changes by the model the nonlinear component as image signal squares was introduced. Sensibility of the autoregression model was increased by the additional auto influence signal which was found by variation of the model error. The method of textured background filtration on the basis of the inverse resonance filter model was proposed. The model allows to present the filtration as the inverse problem for definition of the known actuating signal with simple form and to solve it using resonance harmonic vectors decomposition. The method of resonance harmonic estimation in the condition of signal with phase and derivative faults was improved using conditions of linear and unitary symmetry of image model. The problems of filtration optimization in spectral domain were solved by the phase spectrum correction and creation of the optimal, adapted functions basis with eigen kernel of harmonic functions and by using of fast spectral transform, which decreases the operations number in 4 and more times. The method of quasi-periodical textures filtration by principal harmonic components approximation was offered. Method allows to leave weak informative signals undistorted and to recreate them with much higher visualization quality and resolution ability. The software for filtration of the texture as marine surface and marine mammals recognition, biological textures and granulated materials classification was designed.

Key words: eigen harmonics decomposition, autoregression model, inverse filtration, two-dimensional spectral analysis.

Підписано до друку 5.05.2010 р. Формат 29,7×42¹/₄

Наклад 100 прим. Зам. № 2010-079

Віддруковано в комп'ютерному інформаційно-видавничому центрі

Вінницького національного технічного університету

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