

Учреждение образования
БЕЛОРУССКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
ИНФОРМАТИКИ И РАДИОЭЛЕКТРОНИКИ

УДК 004.93'1; 004.932

ЛУКАШЕВИЧ
Марина Михайловна

**АЛГОРИТМЫ ТЕКСТУРНОГО АНАЛИЗА
ДЛЯ КЛАССИФИКАЦИИ ИЗОБРАЖЕНИЙ**

АВТОРЕФЕРАТ
диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

по специальности 05.13.17 – Теоретические основы информатики

Минск 2014

Работа выполнена в учреждении образования «Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники».

Научный руководитель **Садыхов Рауф Хосровович**, доктор технических наук, профессор, пенсионер

Официальные оппоненты: **Старовойтов Валерий Васильевич**, доктор технических наук, профессор, главный научный сотрудник лаборатории обработки и распознавания изображений Государственного научного учреждения «Объединенный институт проблем информатики Национальной академии наук Беларуси»

Цветков Виктор Юрьевич, кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры сетей и устройств телекоммуникаций учреждения образования «Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники»

Оппонирующая организация **Белорусский государственный университет**

Защита состоится «15» января 2015 г. в 14.00 на заседании совета по защите диссертаций Д 02.15.04 при учреждении образования «Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники» по адресу: 220013, г. Минск, ул. П. Бровки, 6, корп. 1, ауд. 232, тел. 293-89-89, e-mail: dissovet@bsuir.by.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке учреждения образования «Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники».

Автореферат разослан «9» декабря 2014 г.

Ученый секретарь совета
по защите диссертаций,
кандидат технических наук, доцент



Бранцевич П.Ю.

КРАТКОЕ ВВЕДЕНИЕ

Цифровая обработка изображений и распознавание образов применяются при решении широкого круга прикладных задач дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ), медицины, безопасности, автоматизации технологических процессов, неразрушающего контроля и др. При этом актуальной остается проблема выбора методов обработки изображений и настройки их параметров. Традиционный подход, основанный на анализе яркости (цветности) отдельных пикселей изображения, не всегда приводит к решению поставленных задач. Тогда необходимо учитывать контекстную информацию о статистических связях соседних пикселей (или элементов изображения) и пространственной организации данных, т. е. исследовать текстуру.

Текстурный анализ обычно рассматривают в составе цепочки этапов, основными среди которых являются определение размера окна для исследования текстуры, вычисление текстурных признаков и собственно распознавание. На данный момент существует ряд методов и алгоритмов текстурного анализа, установлена эффективность применения искусственных нейронных сетей (ИНС) при принятии решений. Однако, несмотря на достигнутые успехи в данной области, многие алгоритмы не обеспечивают необходимую точность распознавания, имеют ограничения по вычислительной сложности и требуют дополнительных исследований. Вышесказанное определило направление диссертационного исследования.

Диссертационная работа посвящена созданию и исследованию новых эффективных алгоритмов вычисления текстурных признаков и классификации изображений. Разработанные алгоритмы апробированы на реальных задачах анализа снимков земной поверхности (СЗП), а также медицинских изображений кристаллограмм биологических жидкостей. Практическим результатом диссертационной работы является построение прототипов систем для тематической обработки названных типов изображений.

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Связь с крупными научными программами и темами

Тема диссертации соответствует приоритетным направлениям «Методы математического и компьютерного моделирования, компьютерные технологии и интеллектуальные системы поддержки принятия решений» (пункт 5.1), «Математические и интеллектуальные методы, информационные технологии и системы распознавания и обработки образов, сигналов, речи и мультимедийной информации» (пункт 5.4), «Методы, средства и технологии обработки данных дистанционного зондирования Земли в целях решения прикладных задач, в том числе анализа и синтеза космических изображений, контроля природопользования и экологической безопасности, методы защиты космической информации» (пункт 5.10) Перечня приоритетных научных

исследований Республики Беларусь на 2011–2015 гг., утвержденного Постановлением Совета Министров Республики Беларусь от 19 апреля 2010 г., № 585.

Диссертационная работа выполнена в рамках планов научно-исследовательских работ кафедры ЭВМ, НИЛ 3.6 БГУИР. Исследования по теме диссертационной работы проводились в соответствии с заданиями тем и хозяйственных договоров:

1. Разработать метод и алгоритмы статистического анализа и текстурной сегментации изображений, грант Министерства образования Республики Беларусь для аспирантов от 04.01.2010, ГБЦ № 10-3105, № ГР 20100459, 2010 г.

2. Разработка методов алгоритмов анализа изображений кристаллограмм биологической жидкости, грант Белорусского республиканского фонда фундаментальных исследований, договор № Ф11М-130 от 15.04.2011 г., ГБЦ № 11-7014, № ГР 20120950, 2011–2013 гг.

3. Разработать методы и алгоритмы обработки изображений и распознавания объектов в системах технического зрения, задание 08 ГПОФИ «Инфотех», ГБЦ 02-3089, № ГР 2002923, 2002–2005 гг.

4. Разработка алгоритмов и программных модулей обработки многозональных спутниковых данных на базе параллельных архитектур, задание 1.3 Программы Союзного государства «Космос-СГ», х/д 04-1084, № ГР 20051580, 2004–2007 гг.

5. Разработать программный комплекс обработки данных дистанционного зондирования Земли для решения задач ресурсопользования (шифр «ПК-Р»), задание 1.2 Программы Союзного государства «Космос-НТ», х/д 08-1135Б, № ГР 20090006, 2008–2011 гг.

6. Система идентификации личности по биометрическим данным на основе параллельного процессора с программируемой наращиваемой архитектурой, реализующей нейро-нечеткую модель вычислений, ГПНИ «Конвергенция», задание 3.4.03, ГБЦ № 11-3118, № ГР 20113914, 2011–2015 гг.

Цель и задачи исследования

Целью диссертационной работы является разработка методики и алгоритмов текстурного анализа для классификации тематических изображений.

Для достижения поставленной цели необходимо решить следующие задачи:

- 1) разработать алгоритм, выявляющий наличие текстуры на изображении;
- 2) разработать алгоритм вычисления текстурных признаков на основе анализа структуры элементов текстуры;
- 3) разработать алгоритм вычисления текстурных признаков, инвариантных к изменениям масштаба;
- 4) разработать методику текстурного анализа и классификации изображений и применить ее при решении прикладных задач тематической

обработки снимков земной поверхности и изображений кристаллограмм биологических жидкостей.

Объектом исследования являются текстурные изображения.

Предметом исследования являются методы и алгоритмы анализа изображений и их классификации.

Положения, выносимые на защиту

На защиту выносятся следующие результаты:

1. Алгоритм обнаружения текстуры на изображении для оценки целесообразности использования методов и алгоритмов текстурного анализа применительно к конкретному изображению (классу изображений), отличительной особенностью которого является возможность определения размера окна для оптимального использования алгоритмов анализа текстуры изображения. Нормированные уровни ошибок первого и второго рода при обнаружении текстурных областей составили 7,1 и 2,8% соответственно.

2. Алгоритм вычисления текстурных признаков на основе набора структурных элементов и вычисляемых на их основе статистик. Алгоритм прост в реализации и обеспечивает точность распознавания 95,2 % на тестовом наборе из базы текстур Outex, что на 0,4–7,5% выше точности распознавания известных алгоритмов.

3. Алгоритм вычисления текстурных признаков, инвариантных к изменениям масштаба, на основе энергетических характеристик и дискретного вейвлет-преобразования, отличительной особенностью которого является композиция двух независимых алгоритмов вычисления текстурных признаков, что позволило на тестовых наборах из баз текстур UIUCTex и KTH-TIPS достичь точности распознавания 96,4 и 95,0 % соответственно, что на 0,2–18 % выше точности распознавания известных алгоритмов.

4. Модифицированный алгоритм вычисления энергетических текстурных признаков, отличительной особенностью которого является использование одномерных вместо двумерных векторов, что позволило на 12 % уменьшить время вычислений при незначительных потерях в точности распознавания.

5. Методика текстурного анализа и классификации изображений для тематического дешифрирования снимков земной поверхности и анализа медицинских изображений (изображения кристаллограмм биологических жидкостей) на базе нейросетевого классификатора и пространства признаков, вычисленных по предложенным алгоритмам, что позволило увеличить точность принятия решений в среднем на 15 % по сравнению с традиционными подходами при решении прикладных задач.

Личный вклад соискателя

Основные результаты и положения, выносимые на защиту, получены лично автором. Все алгоритмы, обсуждаемые в работе, были разработаны и

экспериментально исследованы автором самостоятельно. Научный руководитель принимал участие в постановке целей исследования, их предварительном анализе, а также в обсуждении полученных результатов. В публикациях с соавторами вклад соискателя определяется рамками излагаемых в диссертационной работе результатов.

Апробация результатов диссертации

Основные положения и результаты диссертационной работы докладывались и обсуждались на следующих международных конференциях: Третий Белорусский космический конгресс, г. Минск, Беларусь, 23–25 октября 2007 г.; The International Conference “Neural Networks and Artificial Intelligence” (ICNNAI'2008), г. Минск, Беларусь, 27–30 мая 2008 г.; The International Conference “Problem of Cybernetics and Informatics” (PCI'2008), г. Баку, Азербайджан, 10–12 сентября 2008 г.; The International Conference “Advanced Information and Telemedicine Technologies for Health” (АИТТТН'2008), г. Минск, Беларусь, 1–3 октября 2008 г.; Международная научно-техническая конференция «Медэлектроника – 2008. Средства медицинской электроники и новые медицинские технологии», г. Минск, Беларусь, 11–12 декабря 2008 г.; Международная научно-техническая конференция, посвященная 45-летию МРТИ–БГУИР, г. Минск, Беларусь, 19 марта 2009 г.; Международная конференция-форум «Информационные системы и технологии» (IST'2009), г. Минск, Беларусь, 16–17 ноября 2009 г.; The International Conference “Neural Networks and Artificial Intelligence” (ICNNAI'2010), г. Брест, Беларусь, 1–4 июня 2010 г.; The International Conference on Practical Applications of Agent and Multiagent Systems (РААМС'2010), г. Саламанка, Испания, 26–28 апреля 2010 г.; Республиканская научно-практическая конференция с международным участием «Париновские чтения 2010», г. Минск, Беларусь, 6 мая 2010 г.; 48-я научная конференция аспирантов, магистрантов и студентов, г. Минск, Беларусь, 7–11 мая 2012 г.; The International Conference “Problem of Cybernetics and Informatics” (PCI'2012), г. Баку, Азербайджан, 12–14 сентября 2012 г.; Международная конференция «Информационные системы и технологии 2012» (ITS'2012), г. Минск, Беларусь, 24 октября 2012 г.; III Международная молодежная научно-практическая конференция «Научные стремления – 2012», г. Минск, Беларусь, 6–9 ноября 2012 г.; 9-я международная молодежная научно-техническая конференция, г. Севастополь, Украина, 22–26 апреля 2013 г.; Международная научно-техническая конференция, приуроченная к 50-летию МРТИ–БГУИР, г. Минск, Беларусь, 18–19 марта 2014 г.

Опубликованность результатов диссертации

По теме диссертационной работы опубликовано 23 печатные работы, из них 5 статей в научных журналах, входящих в перечень ВАК Беларуси, 1 статья в международном журнале (2,8 авторских листа), 12 статей в сборниках трудов

и материалов международных конференций, 1 статья в сборнике докладов республиканской конференции, 3 тезиса докладов на международных конференциях, 1 тезис доклада на университетской конференции. Суммарный объем публикаций составляет 5,75 авторских листа.

Структура и объем диссертации

Общий объем работы составляет 162 страницы, из них 89 страниц основного текста, 77 рисунков на 30 страницах, 16 таблиц на пяти страницах, библиографический список из 189 наименований на 16 страницах, список собственных публикаций из 23 наименований на 4 страницах и 3 приложения на 18 страницах.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во **введении** обоснована актуальность темы диссертационной работы, показана необходимость проведения исследований по данной теме.

В **первой главе** представлен анализ результатов исследований в области текстурного анализа изображений. Показано, что при решении прикладных задач анализа СЗП и изображений кристаллограмм биологических жидкостей целесообразно использовать текстурный анализ. Определены два подхода при определении понятия «текстура»: *структурный подход* (текстура представляет собой множество примитивных элементов, расположенных в некотором регулярном или повторяющемся порядке) и *статистический подход* (текстура определяется статистическими характеристиками распределения значений интенсивности в некоторой области изображения). Лучшее определение понятия «текстура» достигается синтезом обоих подходов, когда текстура должна считаться двухуровневой структурой, представляющей собой пространственную организацию (высший уровень) базовых примитивов, которые сами имеют случайный характер (низший уровень). Показано, что традиционная схема распознавания включает в себя три этапа: 1-й этап – предварительная обработка, 2-й этап – вычисление признаков, 3-й этап – принятие решения. В диссертационной работе предполагается, что «текстурный анализ» включает 2-й и 3-й этапы (рисунок 1).

Текстурный анализ



Рисунок 1 – Схема текстурного анализа изображений

Этап предварительной обработки (изменение контраста, яркости, фильтрация и т. д.) можно исключить из процесса текстурного анализа.

Выполнен анализ существующих алгоритмов вычисления текстурных признаков, выявлены их слабые стороны, ограничения и недостатки. Обозначены современные тенденции при решении задачи классификации текстур, отмечена целесообразность использования ИНС. Выполнен обзор систем обработки и интерпретации данных ДЗЗ и систем обработки медицинских изображений. Определены цели и задачи диссертационного исследования.

Вторая глава посвящена алгоритмам текстурного анализа изображений.

Из опыта решений прикладных задач следует, что разработчики выбирают алгоритмы текстурного анализа по большей части эмпирически либо учитывая известные параметры алгоритмов (вычислительная сложность, точность), которые получены для тестовых баз изображений текстур, а не для конкретного класса изображений. Данный подход не позволяет сделать предварительные оценки успешности применения как определенного алгоритма, так текстурного анализа в целом.

С целью предварительной оценки пригодности изображения для текстурного анализа предложен *алгоритм обнаружения текстуры на изображении* (Алг. 1). Суть алгоритма состоит в определении локальных (пиксель с минимальным/максимальным значением яркости в строке или столбце в пределах окна размером $k \times k$) и глобальных (пиксель, являющийся одновременно локальным экстремумом строки и столбца в окне размером $k \times k$) экстремумов, а также их частоты в пределах окна размером $k \times k$.

Наличие экстремумов (как локальных, так и глобальных) свидетельствует о присутствии текстуры на изображении и позволяет отнести содержащую экстремумы область (окно размером $k \times k$) к текстурным. Алгоритм может быть реализован для различных значений k , где k – размер окна в диапазоне от 3 до h с шагом 2, h – максимальный размер окна, и состоит из следующих шагов.

Шаг 1. Для каждого размера окна выполнить следующее:

Шаг 1.1. Для каждого пикселя изображения $I(x, y)$ в окне размером $k \times k$ определить, является ли пиксель *локальным экстремумом* строки или столбца.

Шаг 1.2. Если пиксель изображения $I(x, y)$ одновременно является локальным экстремумом строки и столбца, обозначить данный пиксель как *глобальный экстремум*.

Шаг 1.3. Если пиксель изображения $I(x, y)$ является глобальным экстремумом, то отнести этот пиксель и его окрестность (пиксели в окне исследуемого размера) к текстурной области.

Шаг 1.4. Сформировать маску для изображения $I(x, y)$, которая показывает наличие или отсутствие текстуры.

Шаг 2. Для каждого размера окна выполнить следующее: для каждого пикселя изображения $I(x, y)$ в окне размером $k \times k$ определить плотность

глобальных экстремумов $P = \frac{H}{k \times k}$, где H – число глобальных экстремумов в окне размером $k \times k$.

Шаг 3. Для каждого пикселя изображения $I(x, y)$ определить размер маски, при котором плотность экстремумов в окне размером $k \times k$ максимальная.

Главной задачей исследований являлась разработка эффективных алгоритмов вычисления текстурных признаков. Предложен алгоритм вычисления текстурных признаков на основе набора структурных элементов (Алг. 2). Основной идеей алгоритма является анализ формы элементов, составляющих текстуру. Разработанный алгоритм предполагает вычисление текстурных признаков с помощью набора структурных элементов, предложенных автором. На рисунке 2 приведена графическая форма представления структурных элементов.

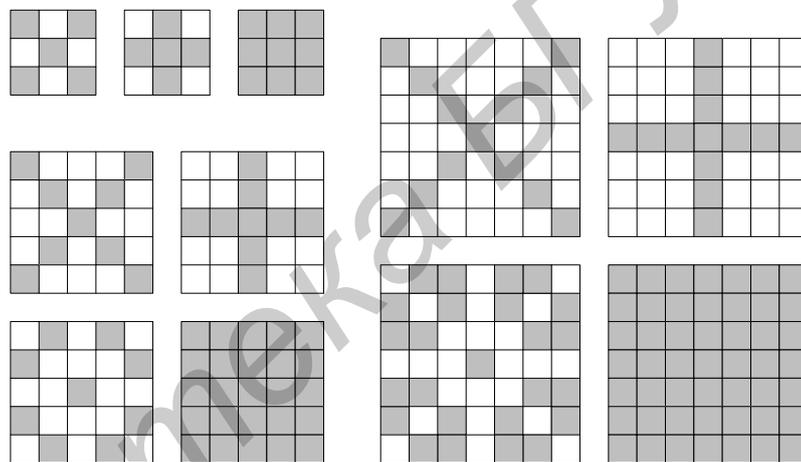


Рисунок 2 – Набор структурных элементов

Для вычисления текстурных признаков используются структурные элементы размером 3×3 , 5×5 и 7×7 – всего 11 структурных элементов. Рассматриваются лишь те пиксели, которые находятся под закрашенными областями структурных элементов («значащие пиксели»). Структурные элементы могут иметь и другую форму, что позволяет расширять набор исследуемых структурных элементов.

Для каждого структурного элемента рассчитываются текстурные признаки по следующим формулам:

$$G_{S_k}^{\min}(x, y) = \frac{\min}{k=1, H} T_{S_k} [I(x, y)],$$

$$G_{S_k}^{\max}(x, y) = \frac{\max}{k=1, H} T_{S_k} [I(x, y)],$$

$$G_{S_k}^{\text{median}}(x, y) = \frac{\text{median}}{k=1, H} T_{S_k} [I(x, y)],$$

$$G_{S_k}^{\text{variance}}(x, y) = \frac{\text{variance}}{k=1, H} T_{S_k} [I(x, y)],$$

$$G_{S_k}^{\text{energy}}(x, y) = \frac{\text{energy}}{k=1, H} T_{S_k} [I(x, y)],$$

$$G_{S_k}^{\text{entropy}}(x, y) = \frac{\text{entropy}}{k=1, H} T_{S_k} [I(x, y)],$$

где $I(x, y)$ – исходное изображение; T – операция обработки изображения с использованием структурного элемента; S_k – k -й структурный элемент, где $k = \overline{1, H}$; H – число структурных элементов; \min – минимальное значение среди «значащих пикселей»; \max – максимальное значение среди «значащих пикселей»; median – медианное значение среди «значащих пикселей»; varinse – значение вариации, вычисляемое по гистограмме яркости для «значащих пикселей»; energy – значение энергии, вычисляемое по гистограмме яркости для «значащих пикселей»; entropy – значение энтропии, вычисляемое по гистограмме яркости для «значащих пикселей».

Алгоритм состоит из следующих шагов:

Шаг 1. Для каждого структурного элемента S_k , где $k = \overline{1, H}$, выполнить следующее:

Шаг 1.1. Для каждого пикселя изображения $I(x, y)$ получить множество «значащих пикселей».

Шаг 1.1.1. Вычислить минимальное значение среди «значащих пикселей» $G^{\min}(x, y)$.

Шаг 1.1.2. Вычислить максимальное значение среди «значащих пикселей» $G^{\max}(x, y)$.

Шаг 1.1.3. Вычислить медианное значение среди «значащих пикселей» $G^{\text{median}}(x, y)$.

Шаг 1.1.4. Вычислить значение вариации для «значащих пикселей» $G^{\text{variance}}(x, y)$.

Шаг 1.1.5. Вычислить значение энергии для «значащих пикселей» $G^{\text{energy}}(x, y)$.

Шаг 1.1.6. Вычислить значение энтропии для «значащих пикселей» $G^{\text{entropy}}(x, y)$.

Шаг 2. Сформировать массив текстурных признаков для изображения $I(x, y)$ путем назначения каждому пикселю вектора числовых параметров.

Предложен алгоритм вычисления текстурных признаков, инвариантных к изменениям масштаба (Алг. 3). Основная идея алгоритма заключается в вычислении энергетических текстурных признаков с помощью локальных масок на каждом уровне вейвлет-преобразования. 25 локальных масок получаются путем попарного умножения одномерных векторов $L5$, $E5$, $S5$, $W5$, $R5$, предложенных К. Лавсом. Базовые векторы позволяют вычислить симметричное взвешенное локальное среднее значение, обнаружить края, пятна, волны, образы в виде ряби:

$$L5 = [1 \ 4 \ 6 \ 4 \ 1],$$

$$E5 = [-1 \ -2 \ 0 \ 2 \ 1],$$

$$S5 = [-1 \ 0 \ 2 \ 0 \ -1],$$

$$R5 = [1 \quad -4 \quad 6 \quad -4 \quad 1],$$

$$W5 = [-1 \quad 2 \quad 0 \quad -2 \quad 1].$$

Разработанный алгоритм состоит из следующих шагов:

Шаг 1. Вычислить энергетические текстурные признаки для исходного изображения.

Шаг 1.1. Нормализовать значения интенсивности на изображении. В пределах окна 3×3 из каждого значения пикселя вычесть локальное среднее значение.

Шаг 1.2. Выполнить свертку изображения с каждой из 25 двумерных масок. Сформировать 25 промежуточных энергетических карт.

Шаг 1.3. Применить нелинейный фильтр 15×15 к каждой из 25 промежуточных энергетических карт. Сформировать 25 энергетических текстурных карт.

Шаг 1.4. Выполнить комбинацию симметричных энергетических карт.

Шаг 1.5. Сформировать массив энергетических текстурных признаков для изображения $I(x, y)$.

Шаг 2. На каждом уровне разложения K выполнить следующее:

Шаг 2.1. Выполнить одномерное вейвлет-преобразование строк.

Шаг 2.2. Выполнить одномерное вейвлет-преобразование столбцов.

Шаг 2.3. Сформировать квадранты изображения LL_K, LH_K, HL_K, HH_K .

Шаг 2.4. Для квадранта изображения выполнить шаги 1.2–1.5.

Шаг 3. Сформировать массив текстурных признаков для изображения $I(x, y)$ путем назначения каждому пикселю вектора числовых параметров.

Также в рамках диссертационного исследования предложен модифицированный алгоритм вычисления энергетических текстурных признаков (Алг. 4), осуществляющий вычисление энергетических текстурных признаков с использованием векторов Лавса и позволяющий сократить вычислительную сложность базового алгоритма.

Шаг 1. Загрузить полутоновое изображение $I(x, y)$ размером $M \times N$ пикселей.

Шаг 2. Нормализовать значения интенсивности на изображении. В пределах окна 3×3 из каждого значения пикселя вычесть локальное среднее значение.

Шаг 3. Выполнить вертикальную свертку изображения с одномерными векторами Лавса.

Шаг 4. Выполнить горизонтальную свертку изображения с одномерными векторами Лавса.

Шаг 5. Суммировать промежуточные энергетические карты, полученные на шаге 3 и шаге 4.

Шаг 6. Сформировать массив текстурных признаков для изображения $I(x, y)$ путем назначения каждому пикселю вектора числовых параметров.

Предложена схема процедуры классификации изображений текстур на базе самоорганизующейся нейронной сети и нейронной сети многослойный персептрон (рисунок 3).

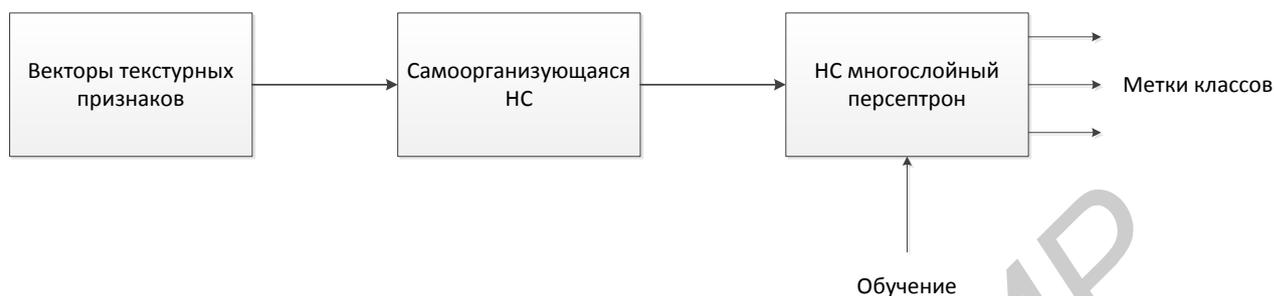


Рисунок 3 – Схема процедуры классификации изображений текстур

Самоорганизующаяся нейронная сеть выполняет начальное разбиение пространства признаков на кластеры, объединяющие образы с некоторыми общими свойствами. На данном этапе не требуется предварительной информации о группах образов, происходит уменьшение пространства признаков. Редуцированный вектор поступает на вход многослойного персептрона, с выхода которого снимается «принадлежность» входного вектора одному из классов. Данный подход позволяет значительно сократить время обучения ИНС многослойный персептрон.

Таким образом, во второй главе представлены разработанные алгоритмы, которые расширяют формальный аппарат обработки изображений, используемый на различных этапах текстурного анализа. В частности: предложен алгоритм обнаружения текстуры на изображении, который может быть использован на начальной стадии текстурного анализа изображений; разработаны алгоритмы вычисления текстурных признаков на основе структурных элементов, энергетических текстурных признаков и технологии вейвлет-преобразования; представлена модель нейросетевого классификатора изображений текстур.

В **третьей главе** приведены результаты исследования эффективности разработанных алгоритмов. Выполнены экспериментальные исследования по оценке эффективности *алгоритма обнаружения текстуры на изображении (Алг. 1)* на созданной тестовой базе изображений, содержащих области с постоянной интенсивностью и текстурные области. Оценивались результаты обнаружения текстуры в окне размером 3×3 , 5×5 , 7×7 , 9×9 , 11×11 (таблица 1).

Алгоритм относится к эвристическим алгоритмам, но дает приемлемое решение в большинстве практически значимых случаев.

Таблица 1 – Нормированные уровни ошибок первого и второго рода, %

Размер окна, пикселей	nFN , %	nFP , %
3×3	0,8	1,8
5×5	5,1	2,0
7×7	5,5	2,2
9×9	5,3	2,4
11×11	7,1	2,8

Алгоритм вычисления текстурных признаков на основе набора структурных элементов (Алг. 2) тестировался на тестовых наборах (ТН) из баз изображений текстур Outex (ТН1, ТН2) и CURET (ТН3, ТН4). Результаты экспериментов приведены в таблицах 2 и 3.

Таблица 2 – Точность классификации для ТН1 и ТН2, %

Алгоритм	ТН1	ТН2
VZ_MR8	87,7	87,4
VZ_Patch	94,1	92,6
Предложенный алгоритм (Алг. 2)	95,2	93,0

Таблица 3 – Точность классификации для ТН3 и ТН4, %

Алгоритм	ТН3	ТН4
VZ_MR8	74,3	94,9
VZ_Patch	76,3	94,8
Предложенный алгоритм (Алг. 2)	78,2	92,8

Алгоритм показывает точность распознавания 95,2 % на тестовом наборе из базы текстур Outex, что на 0,4–7,5 % выше точности распознавания известных алгоритмов.

Алгоритм вычисления текстурных признаков, инвариантных к изменениям масштаба (Алг. 3), тестировался на тестовых наборах из баз изображений текстур UIUCTex (ТН5) и KTH-TIPS (ТН6). Результаты экспериментов приведены в таблице 4.

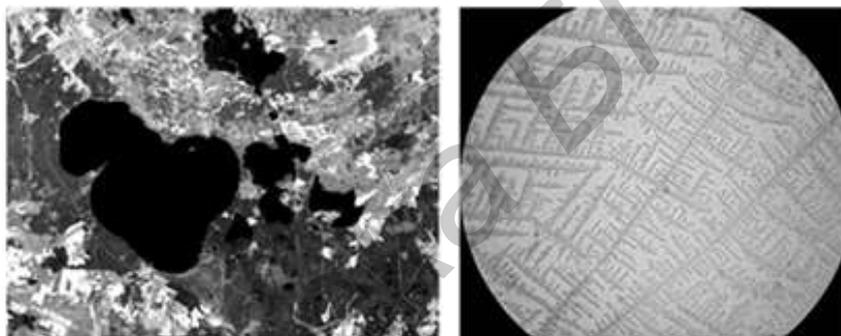
Таблица 4 – Точность классификации для ТН5 и ТН6, %

Алгоритм	ТН5	ТН6
Varma&Zisserman	78,4	92,4
Hayman et al.	92,0	94,8
Lazebnik et al.	96,0	91,3
Предложенный алгоритм (Алг. 3)	96,4	95,0

Достигнута точность распознавания 96,4 и 95,0 % соответственно, что на 0,2–18% выше точности распознавания известных алгоритмов.

При исследовании эффективности *модифицированного алгоритма вычисления энергетических текстурных признаков (Алг. 4)* использовалась база текстур Brodatz. Применение одномерных, а не двумерных векторов позволяет при выполнении свертки изображения с маской сократить количество операций умножения в 5 раз, а количество операций сложения в 3 раза. Однако появляется дополнительный этап в алгоритме – суммирование промежуточных энергетических карт. Эксперименты показали, что использование модифицированного алгоритма позволяет на 12 % уменьшить время вычислений, но при этом будут потери в точности классификации порядка 0,4 % (на ТН из базы текстур Brodatz).

Четвертая глава посвящена решению двух прикладных задач: анализ СЗП (построение тематически карт лесного фонда) и анализ изображений кристаллограмм биологических жидкостей (исследование степени кристаллизации, классификация изображений кристаллограмм по типу микрокристаллизации), рисунок 4.



а б
а – СЗП; б – изображение кристаллограммы

Рисунок 4 – Примеры изображений

Приводится описание прототипов систем анализа и классификации изображений СЗП и изображений кристаллограмм биологической жидкости. Представлены уточненные схемы процесса анализа указанных классов изображений. Представлена методика текстурного анализа и классификации изображений, включающая следующие этапы.

1 этап. На изображении определяются области интереса, реализуется алгоритм обнаружения текстуры на изображении (Алг. 1). В результате предварительного анализа определяются текстурные области (либо факт их отсутствия), вычисляется оптимальный размер маски для исследования текстуры изображения и в целом даются рекомендации о целесообразности применения методов и алгоритмов текстурного анализа для обработки исследуемого изображения (класса изображений).

2 этап. Реализация алгоритмов вычисления текстурных признаков (Алг. 2, Алг. 3, Алг. 4), формирование пространства текстурных признаков. В зависимости от особенностей исследуемого класса изображений возможен

выбор одного либо нескольких алгоритмов и вычисление на их основе текстурных признаков.

3 этап. Функционирование в построенном пространстве текстурных признаков приведенной модели нейросетевого классификатора изображений текстур на базе самоорганизующейся нейронной сети и нейронной сети многослойный персептрон.

Представленная методика позволяет выполнить настройку инструментария под конкретную задачу, дает возможность комбинировать алгоритмы вычисления текстурных признаков, а также позволяет расширять алгоритмический аппарат для вычисления текстурных признаков. Методика универсальна и может быть использована в различных областях, связанных с задачами обработки и анализа изображений.

В приложениях представлены двумерные маски Лавса, пример вычисления энергетических текстурных карт, документы об использовании результатов диссертационной работы.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Основные научные результаты диссертации

В диссертационной работе получены следующие результаты, обладающие научной новизной.

1. Разработан алгоритм обнаружения текстуры на изображении для оценки целесообразности использования методов и алгоритмов текстурного анализа применительно к конкретному изображению (классу изображений), отличительной особенностью которого является возможность определения размера окна для оптимального использования алгоритмов анализа текстуры изображения. Нормированные уровни ошибок первого и второго рода при обнаружении текстурных областей составили 7,1 и 2,8 % соответственно. Представленный алгоритм может быть использован на начальной стадии текстурного анализа, что расширяет и дополняет этапы общепринятой практики [6, 18, 20, 21, 22, 23].

2. Разработан алгоритм вычисления текстурных признаков на основе набора структурных элементов и вычисляемых на их основе статистик. Алгоритм прост в реализации и обеспечивает точность распознавания 95,2 % на тестовом наборе из базы текстур Outex, что на 0,4–7,5 % выше точности распознавания известных алгоритмов [6, 18, 19, 21, 22, 23].

3. Разработан алгоритм вычисления текстурных признаков, инвариантных к изменениям масштаба, на основе энергетических характеристик и дискретного вейвлет-преобразования, отличительной особенностью которого является композиция двух независимых алгоритмов вычисления текстурных признаков, что позволило на тестовых наборах из баз текстур UIUCTex и KTH-TIPS достичь точности распознавания 96,4 и 95,0 % соответственно, что на 0,2–18% выше точности распознавания известных алгоритмов [3, 7, 10, 12, 13, 15].

4. Разработан модифицированный алгоритм вычисления энергетических текстурных признаков, отличительной особенностью которого является использование одномерных вместо двумерных векторов, что позволило на 12 % уменьшить время вычислений при незначительных потерях в точности распознавания на основе вычисляемых текстурных признаков [3, 7, 10].

5. Разработана методика текстурного анализа и классификации изображений для поддержки принятия решений при тематическом дешифрировании СЗП и анализе медицинских изображений (изображения кристаллограмм биологических жидкостей), которая предполагает использование нейросетевого классификатора в сформированном пространстве признаков, что позволило увеличить точность принятия решений в среднем на 15 % по сравнению с традиционными подходами при решении прикладных задач [1, 2, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 14, 16, 17, 20].

Рекомендации по практическому использованию результатов

Разработанные алгоритмы являются основой для создания библиотек, которые могут использоваться в составе программных комплексов при решении широкого круга задач цифровой обработки изображений и распознавания образов, в том числе при анализе данных ДЗЗ и в медицине при кристаллографических исследованиях биологических жидкостей.

Результаты диссертационной работы внедрены:

- в филиале «Космоаэрогеология» Государственного предприятия «БелНИГРИ» в сфере природных ресурсов и окружающей среды;
- на кафедре общей стоматологии БГМУ в сфере практического здравоохранения;
- в учебный процесс в БГУИР в качестве лекционного материала.

Результаты диссертационной работы рекомендуется использовать в организациях, занимающихся решением задач, связанных с обработкой изображений, в том числе на предприятиях Министерства природных ресурсов и охраны окружающей среды при решении задач, связанных с тематической обработкой снимков земной поверхности, и в организациях Министерства здравоохранения при проведении кристаллографических исследований.

СПИСОК ПУБЛИКАЦИЙ СОИСКАТЕЛЯ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ

Статьи в научных журналах

1. Лукашевич, М.М. Методика тестирования систем распознавания дискретных динамических сцен / М.М. Лукашевич, М.М. Татур // Изв. Белорус. инженер. акад. – 2004. – № 1(17)/1. – С. 123–125.

2. Лукашевич, М.М. Методика выделения растительности на спектрально-анализных снимках земной поверхности / Е.В. Калабухов,

М.М. Лукашевич, Р.Х. Садыхов // Инженер. вестн. – 2006. – № 1(21)/3. – С. 200–203.

3. Садыхов, Р.Х. Алгоритм текстурной сегментации с использованием энергетических характеристик / Р.Х. Садыхов, М.М. Лукашевич // Докл. Белорус. гос. ун-та информатики и радиоэлектроники. – 2008. – № 6. – С. 109–115.

4. Садыхов, Р.Х. Алгоритм текстурной кластеризации спутниковых изображений с использованием конкурентной нейронной сети / Р.Х. Садыхов, М.М. Лукашевич // Докл. Белорус. гос. ун-та информатики и радиоэлектроники. – 2008. – № 8. – С. 68–74.

5. Sadykhov, R.Kh. Texture clustering of satellite images using self-organizing neural network / R.Kh. Sadykhov, M.M. Lukashevich // The Intern. J. of Computing. – 2008. – Vol. 7, iss. 3. – P. 15–21.

6. Лукашевич, М.М. Анализ изображений кристаллограмм биологических жидкостей / М.М. Лукашевич // Вестн. Фонда фундам. исслед. – 2013. – № 3. – С. 94–106.

Материалы конференций и тезисы докладов

7. Садыхов, Р.Х. Алгоритм обработки снимков земной поверхности на основе энергетических текстурных признаков / Р.Х. Садыхов, М.М. Лукашевич // Третий Белорусский космический конгресс : материалы конгр., Минск, 23–25 окт. 2007 г. / НАН Беларуси, Объед. ин-т проблем информатики ; науч. ред.: С.В. Абламейко, А.В. Тузиков. – Минск, 2007. – С. 144–148.

8. Lukashevich, M.M. Synthesis of a self-organizing neural network in a problem of clustering of gray level remote sensing image data / M.M. Lukashevich, R.Kh. Sadykhov // Neural networks and artificial intelligence (ICNNAI– 2008) : proc. of the fifth Intern. conf., Minsk, 27–30 May 2008 / ed.: R. Sadykhov, A. Doudkin, L. Podenok. – Minsk, 2008. – P. 306–309.

9. Sadykhov, R. Texture segmentation of satellite images by neural network approach / R. Sadykhov, M. Lukashevich // Problem of cybernetics and informatics (PCI'2008) : proc. of the second Intern. conf., Baku, 10–12 Sept. 2008 / Baku State Univ. – Baku, 2008. – P. 167–170.

10. Лукашевич, М.М. Алгоритм формирования пространства текстурных признаков для классификации биокристаллов / М.М. Лукашевич, Р.Х. Садыхов, В.Р. Гайфуллина // Современные информационные и телемедицинские технологии для здравоохранения (АИТТН'2008) : материалы второй Междунар. конф., Минск, 1–3 окт. 2008 г. / НАН Беларуси, Объед. ин-т проблем информатики ; науч. ред.: В. Ковалев [и др.]. – Минск, 2008. – С. 217–221.

11. Лукашевич, М.М. Анализ и классификация кристаллограмм ротовой жидкости человека / М.М. Лукашевич, Р.Х. Садыхов, В.Р. Гайфуллина // Медэлектроника – 2008: средства медицинской электроники и новые медицинские технологии : сб. науч. ст. V Междунар. науч.-техн. конф., Минск,

11–12 дек. 2008 г. / Белорус. гос. ун-т информатики и радиоэлектроники ; редкол.: В.С. Улащик [и др.]. – Минск, 2008. – С. 130–135.

12. Лукашевич, М.М. Алгоритм текстурного анализа и нейросетевого распознавания спутниковых изображений / М.М. Лукашевич // Международная научно-техническая конференция, посвященная 45-летию МРТИ – БГУИР : тез. докл., Минск, 19 марта 2009 г. / Белорус. гос. ун-т информатики и радиоэлектроники. – Минск, 2009. – С. 140–141.

13. Лукашевич, М.М. Алгоритм текстурной классификации изображений с использованием технологии вейвлет-преобразования / М.М. Лукашевич, Р.Х. Садыхов // Информационные системы и технологии (IST'2009) : материалы V Междунар. конф.-форума, Минск, 16–17 нояб. 2009 г. : в 2 ч. / Белорус. гос. ун-т. – Минск, 2009 ; редкол.: Н.И. Листопад [и др.]. – Ч. 1. – С. 158–159.

14. Прытков, В.А. Метод синтаксического описания текстурных изображений / В.А. Прытков, Ю.А. Барташевич, М.М. Лукашевич // Информационные системы и технологии (IST'2009) : материалы V Междунар. конф.-форума, Минск, 16–17 нояб. 2009 г. : в 2 ч. / Белорус. гос. ун-т. – Минск, 2009 ; редкол.: Н.И. Листопад [и др.]. – Ч. 1. – С. 172–175.

15. Lukashevich, M. Texture classification using energy features and wavelet transform / M. Lukashevich, R. Sadykhov // International conference on neural networks and artificial intelligence (ICNNAI'2010) : proceedings, Brest, 1–4 June 2010 / Brest State Technical Univ. ; ed. V. Golovko. – Brest, 2010. – P. 80–83.

16. Synthesis and analysis of classifiers based on generalized model of identification / M. Tatur, D. Adzinets, M.М. Lukashevich, S. Bairak // Trends in practical applications of agents and multiagent systems : 8th Intern. conf. on practical applications of agents a. multiagent systems, Berlin / ed. Y. Demazeau [et al.]. – Berlin, 2010. – Vol. 71. – P. 529–536.

17. Гайфуллина, В.Р. Изменение биофизических параметров ротовой жидкости у пациентов со слюнокаменной болезнью / В.Р. Гайфуллина, М.М. Лукашевич, И.О. Походенько-Чудакова // Инновационные подходы в практическом решении актуальных вопросов современной челюстно-лицевой хирургии и стоматологии : сб. тр. Респ. науч.-практ. конф. с междунар. участием «Паринские чтения 2010», Минск, 6 мая 2010 г. / Белорус. гос. мед. ун-т ; под общ. ред. И.О. Походенько-Чудаковой, О.П. Чудакова, С.А. Кабанова. – Минск, 2010. – С. 67–70.

18. Lukashevich, M. Texture analysis. Algorithm for texture features computation / M. Lukashevich, R. Sadykhov // Problem of cybernetics and informatics (PCI'2012) : proc. of the IV Intern. conf., Vaku, 12–14 Sept. 2012 / Vaku State Univ. – Vaku, 2012. – P. 161–163.

19. Лукашевич, М.М. Текстуальный анализ. Алгоритм вычисления текстурных признаков / М.М. Лукашевич // Информационные технологии и системы 2012 (ИТС 2012) : материалы Междунар. науч. конф., Минск, 24 окт. 2012 г. / Белорус. гос. ун-т информатики и радиоэлектроники ; редкол.: Л.Ю. Шилин (гл. ред.) [и др.]. – С. 232–233.

20. Лукашевич, М.М. Система текстурного анализа и классификации изображений / М.М. Лукашевич // Научные стремления – 2012 : III Междунар. молодежн. науч.-практ. конф., Минск, 6–9 нояб. 2012 г. / НАН Беларуси, Совет молодых ученых. – Минск, 2012. – С. 358–361.

21. Лукашевич, М.М. Текстуальный анализ. Алгоритм вычисления текстурных признаков / М.М. Лукашевич // Компьютерные системы и сети : материалы 48-й науч. конф. аспирантов, магистрантов и студентов, Минск, 7–11 мая 2012 г. / Белорус. гос. ун-т информатики и радиоэлектроники ; редкол.: В.А. Прытков (гл. ред.) [и др.]. – С. 12.

22. Лукашевич, М.М. Алгоритм вычисления текстурных признаков / М.М. Лукашевич // Современные проблемы радиотехники и телекоммуникаций «РТ – 2013» : материалы 9-й Междунар. молодежн. науч.-техн. конф., Севастополь, 22–26 апр. 2013 г. / Севастоп. нац. техн. ун-т ; под ред. Ю.Б. Гимпилевича. – Севастополь, 2013. – С. 321.

23. Лукашевич, М.М. Алгоритм текстурного анализа изображений // Международная научно-техническая конференция, приуроченная к 50-летию МРТИ–БГУИР: материалы конф., Минск, 18–19 марта 2014 г. : в 2 ч. / Белорус. гос. ун-т информатики и радиоэлектроники ; редкол. : А.А. Кураев [и др.]. – Минск, 2014. – Ч. 1. – С. 498–499.



РЭЗІЮМЭ

Лукашэвіч Марына Міхайлаўна

Алгарытмы тэкстурнага аналізу для класіфікацыі відарысаў

Ключавыя словы: апрацоўка відарысаў, тэкстура, тэкстурны аналіз, тэкстурныя прыкметы, нейронавыя сеткі.

Мэта працы: распрацоўка метадыкі і алгарытмаў тэкстурнага аналізу для класіфікацыі тэматычных відарысаў.

Метады даследавання: метады аналізу відарысаў, нейрасеткавыя тэхналогіі прыняцця рашэнняў.

Атрыманыя вынікі і іх навізна: у працы прапанаваны:

1) алгарытм выяўлення тэкстуры на відарысе;
2) алгарытм вылічэння тэкстурных прыкмет на аснове набору структурных элементаў;

3) алгарытм вылічэння тэкстурных прыкмет на аснове энергетычных тэкстурных прыкмет і дыскрэтнага вэйвлет-пераўтварэння, адметнай асаблівасцю якога з'яўляецца магчымасць вылічэння прыкмет, інварыянтных да маштабу;

4) мадыфікаваны алгарытм вылічэння энергетычных тэкстурных прыкмет, які дазваляе паменшыць час вылічэнняў у параўнанні з класічным алгарытмам;

5) метадыка тэкстурнага аналізу і класіфікацыі відарысаў для падтрымкі прыняцця рашэнняў пры аналізе здымкаў зямной паверхні і відарысаў крышталяграмаў біялагічных вадкасцяў.

Выкарыстанне распрацаванага алгарытмічнага апарата спрыяе атрыманню больш якасных і дакладных вынікаў аналізу відарысаў (здымкі зямной паверхні, медыцынскія відарысы і інш.). Распрацаваныя алгарытмы і прататыпы сістэм на іх аснове з'яўляюцца эканамічна эфектыўнымі, дазваляюць якасна пашырыць інструментарый, які ўжываецца ў апрацоўцы відарысаў і распазнанні вобразаў.

Вобласць прымянення: атрыманыя вынікі могуць выкарыстоўвацца ў складзе праграмных комплексаў пры вырашэнні шырокага кола задач лічбавай апрацоўкі відарысаў і распазнавання вобразаў, у тым ліку пры аналізе дадзеных ДЗЗ і ў медыцыне пры крышталеграфічных даследаваннях біялагічных вадкасцяў.

РЕЗЮМЕ

Лукашевич Марина Михайловна

Алгоритмы текстурного анализа для классификации изображений

Ключевые слова: обработка изображений, текстура, текстурный анализ, текстурные признаки, нейронные сети.

Цель исследования: разработка методики и алгоритмов текстурного анализа для классификации тематических изображений.

Методы исследования: методы анализа изображений, нейросетевые технологии принятия решений.

Полученные результаты и их новизна: в работе предложены:

- 1) алгоритм обнаружения текстуры на изображении;
- 2) алгоритм вычисления текстурных признаков на основе набора структурных элементов;
- 3) алгоритм вычисления текстурных признаков на основе энергетических текстурных признаков и дискретного вейвлет-преобразования, отличительной особенностью которого является возможность вычисления признаков, инвариантных к масштабу;
- 4) модифицированный алгоритм вычисления энергетических текстурных признаков, который позволяет уменьшить время вычислений в сравнении с классическим алгоритмом;
- 5) методика текстурного анализа и классификации изображений для поддержки принятия решений при анализе снимков земной поверхности и изображений кристаллограмм биологических жидкостей.

Использование разработанного алгоритмического аппарата способствует получению более качественных и достоверных результатов анализа изображений (снимки земной поверхности, медицинские изображения и др.). Разработанные алгоритмы и прототипы систем на их основе являются экономически эффективными, позволяют качественно расширить инструментарий, применяемый в обработке изображений и распознавании образов.

Область применения: полученные результаты могут использоваться в составе программных комплексов при решении широкого круга задач цифровой обработки изображений и распознавания образов, в том числе при анализе данных ДЗЗ и в медицине при кристаллографических исследованиях биологических жидкостей.

SUMMARY

Lukashevich Marina Mihailovna

Texture analysis algorithms for image classification

Keywords : image processing, texture, texture analysis, textural features, neural networks.

The purpose of this thesis: development of technique and texture analysis algorithms for thematic images classification.

Research methods: image analysis methods, decision-making neural network technology.

The obtained results and their novelty: in this thesis we have suggested:

- 1) algorithm for texture detection of the image;
- 2) texture feature extraction algorithm based on a set of structural elements;
- 3) texture feature extraction algorithm based on texture energy features and discrete wavelet transform, the distinguishing feature of which is the possibility of scale invariant texture features extraction;
- 4) modified algorithm for texture energy features extraction which reduces computational time in comparison with classical algorithm;
- 5) technique for texture analysis and image classification for decision making support in the image analysis of Earth's surface and biological liquids crystallogram.

Using the developed algorithms allows to obtain higher quality and reliable results of image analysis (Earth's surface images, medical images and others). The algorithms and created prototype systems are costly effective and allow to expand image processing and pattern recognition tools.

Field for application: the obtained results can be applied as a part of software systems for a wide range of digital image processing and pattern recognition applications, including remote sensing data analysis and in crystallographic research of biological liquids in medicine.

Научное издание

Лукашевич Марина Михайловна

**АЛГОРИТМЫ ТЕКСТУРНОГО АНАЛИЗА
ДЛЯ КЛАССИФИКАЦИИ ИЗОБРАЖЕНИЙ**

Специальность 05.13.17 – Теоретические основы информатики

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Подписано в печать
Гарнитура «Таймс»
Уч.-изд. л.

Формат 60×84 1/16
Отпечатано на ризографе.
Тираж 60 экз.

Бумага офсетная.
Усл. печ. л.
Заказ

Свидетельство о государственной регистрации издателя, изготовителя, распространителя
печатных изданий № 1/238 от 23.03.2014, ЛП № 02330/264 от 14.04.2014.
220013, Минск, П. Бровки, 6