

## ОТЗЫВ

официального оппонента к.ф.-м.н. О.С. Середина  
на диссертацию Домахиной Людмилы Григорьевны  
«Скелетная сегментация и циркулярная морфология многоугольников»  
представленной на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук  
по специальности 01.01.09 – дискретная математика и математическая кибернетика

### Оценка актуальности темы диссертационной работы

Примером задач построения современных систем компьютерного зрения, биоидентификации и распознавания является анализ и сравнение форм бинарных растровых изображений. В качестве прикладных задач можно указать сортировку различных объектов на высокопроизводительных конвейерах, идентификацию личности по силуэту ладони, определение типа цели в многоканальных телевизионных автоматах. Разработано большое число дескрипторов формы, позволяющих описывать объект интереса. Можно выделить два подхода к решению этой задачи – дескрипторы, опирающиеся на контуры изображения и на внутреннюю топологическую структуру. В качестве представителя второй группы методов необходимо выделить подход на основе представления изображения в виде непрерывного скелета бинарной фигуры. Теория построения скелетов хорошо себя зарекомендовала и развита в работах научной школы профессора Л.М. Местецкого (МГУ).

В последнее время пришло понимание, что подходы к распознаванию бинарных растровых изображений, основанные на порождении признаков, не являются состоятельными. Во-первых, они сильно зависят от решаемой прикладной задачи, во-вторых, требуют от исследователя определённой доли фантазии в «выдумывании», изобретении всё новых и новых характеристик форм. Более разумным является подход, основанный на вычислении степени похожести (или различия) пары фигур. Именно созданию таких алгоритмов, в конечном счете, и посвящена диссертация Л.Г. Домахиной. Следует признать поставленную задачу весьма амбициозной – разработать математически корректные методы сегментации формы, основанные на скелетном представлении. Безусловно, тема исследования является актуальной, так как позволяет развивать методологию параметрического распознавания в отсутствие явно выраженного вектора признаков объектов.

### Структура и содержание работы

Диссертационная работа состоит из введения, четырех глав, заключения и списка литературы.

*Во введении* к диссертационной работе обоснована актуальность темы исследования, сформулированы цель и задачи, приведены научные результаты.

*Первая глава* посвящена постановке задачи скелетной сегментации, основным определениям. Также приводится обзор литературы в области сегментации и сравнения

формы фигур. Поднимается вопрос качества сегментации, описаны причины неустойчивости скелет. Описан устойчивый односторонний скелетный оператор. Введено понятие базового скелета и базовой скелетной сегментации, которая лучше отражает структуру фигуры по сравнению с сегментацией на основе скелета фигуры.

*Во второй главе* описывается теория циркулярной морфологии. Введены понятия аппарата математической морфологии на множестве циркуляров такие как: оператор проектирования максимальной длины, проекция на максимальный стриженный подциркуляр, функция соответствия проекции образу, функция устойчивости проекции, стандартная циркулярная функция штрафа, упрощенная циркулярная функция штрафа. Доказаны важные утверждения о свойствах этих функций. Задача поиска наилучшей сегментации поставлена как задача оптимизации. Описана структура множеств монотонных вложенных подциркуляров. Показано, что в этих множествах которых содержатся оптимальные подциркуляры. Доказано, что множество может быть построено за полиномиальное время по числу ребер скелета и оптимальный циркуляр также может быть найден за полиномиальное время (выбран из построенного множества подциркуляров).

*В третьей главе* рассматривается задача разработки метода скелетной сегментации пар фигур. Критерий качества для пары циркуляров определяется при помощи оптимизационной задачи, поставленной на множестве пар циркуляров. На множестве пар циркуляров вводятся циркулярные функции подобные введенным во второй главе для одного циркуляра. Для определения функции устойчивости используется априорное условие изоморфизма искомого решения, а функция соответствия – это максимум двух функций соответствия от каждого циркуляра из пары. Таким образом, функция штрафа снова представляет собой сумму противоположных по смыслу функций, благодаря чему постановка задачи оптимизации становится возможной. Эта глава является ключевой в работе, так как в ней не только проведены все доказательства существования и единственности (в специальном подмножестве циркуляров общего положения), но и предлагается конструктивный метод для поиска оптимальной пары циркуляров. Описан алгоритм, осуществляющий такой поиск. Алгоритм за полиномиальное время (по максимальному числу ребер осевого графа одного из циркуляров) строит все вложенные подциркуляры, во множестве которых за линейное время находится нужная оптимальная пара. Предложены идеи по оптимизации данного алгоритма.

*Четвертая глава* относится к экспериментальной части работы и применению теоретического аппарата, описанного в третьей главе, к задачам сравнения формы. Предложены две метрики (полуметрики) на основе циркулярной функции штрафа и ее проекции для пар фигур, а именно первая метрика – значение функции штрафа на оптимальной паре и является расстоянием между двумя фигурами. Эксперименты проведены на модельных и реальных данных подтверждают эффективное применение теорий циркулярной морфологии к задачам распознавания формы плоских фигур и запросам по базе изображений.



## Научная задача и подход к решению

В диссертации рассматриваются задачи поиска скелетных сегментаций, имеющих формальные показатели качества. Сложность этих задач обуславливается проблемами неустойчивости скелетного представления, отсутствием строгого определения качества скелетной сегментации, необходимостью корректной работы с парами фигур.

В работе выделены две основные задачи:

1. создание скелетных дескрипторов – оптимизация качества скелетной сегментации по полноте и устойчивости представления;
2. селекции скелетных дескрипторов – оптимизация по отделимости классов для задачи сравнения формы пары фигур.

Идея разработанного подхода состоит в использовании циркулярного представления – скелета вместе с множеством всех максимальных пустых кругов, и аппроксимации фигур с помощью циркуляров, определяемых циркулярными функциями соответствия и штрафа.

Для заданной фигуры идея конструктивного поиска оптимальных циркуляров заключается в сужении множества поиска до конечного множества вложенных подмножеств циркуляров. Также для заданной фигуры определяется устойчивая, но малоинформативная проекция в виде подциркуляра-цепочки. На множествах циркуляров определяются функции устойчивости и соответствия – противоположные по смыслу, а их сумма – функция, минимизация которой дает оптимальный циркуляр – решение первой поставленной задачи.

Решение второй задачи сходно с решением первой, за исключением иной функции устойчивости, которая «связывает» два циркуляра условием изоморфизма. Таким образом, искомая оптимальная пара циркуляров получается с одной стороны изоморфной (в смысле изоморфизма соответствующих скелетов), но с другой стороны наиболее близкой к исходным фигурам (по метрическим компонентам).

## Основные результаты и их научная новизна

1. В диссертации определен Критерий качества скелетной сегментации фигуры, основанный на определении функции штрафа при помощи противоположных по смыслу функций соответствия и устойчивости. Предложен метод скелетной сегментации фигуры, основанный на минимизации циркулярной функции штрафа.
2. В диссертации определен Критерий качества скелетной сегментации и для пар фигур, а также разработан соответствующий метод скелетной сегментации пары фигур.
3. Описан алгоритм нахождения точного решения оптимальной сегментации пары фигур конструктивно. Алгоритм основан на определении циркулярной функции штрафа для пары фигур с учётом априорной информации об изоморфизме скелетов

и на минимизации функции штрафа для пары циркуляров фигур. Проведены доказательства существования и единственности решения.

4. Предложена циркулярная мера сходства формы фигур, основанная на проекции циркулярной функции штрафа на множестве пар циркуляров.

### **Теоретическая и практическая ценность**

Теоретическая значимость работы заключается в определении аппарата математической морфологии на множествах циркуляров, что позволяет задавать теоретически корректные критерии качества сегментации фигуры и пар фигур. На практике результаты диссертации можно использовать для широкого класса практических задач анализа и распознавания изображений.

### **Замечания**

1. В тексте диссертации оформление многих рисунков (напр., 1.15, 1.19, 1.20) неудобно, они располагаются на следующей, а иногда и через одну страницу от ссылки на них. Нумерация определений, лемм и теорем в автореферате и тексте диссертации не совпадает, что затрудняет чтение. Небрежно оформлен список литературы.
2. Из текста диссертации не понятно, зачем понадобилось вводить понятие «экспериментального порогового циркулярного расстояния» (раздел 4.3.1, стр. 128) и есть ли какие-то соображения по выбору ограничивающего порога  $\eta$ .
3. В четвертой главе описаны эксперименты по применению циркулярных функций штрафа для пар циркуляров к задачам сравнения формы. Во второй главе приведена теория построения дескрипторов формы одной фигуры при помощи циркулярной функции штрафа. Однако в работе отсутствуют эксперименты данной теории, описанной для одной фигуры (циркуляра). Можно было бы провести эксперименты и в этой области.

### **Заключительная оценка**

Приведенные замечания не снижают общей высокой оценки диссертационной работы. Диссертационная работа представляет собой законченное научное исследование, выполнена автором самостоятельно на хорошем научном уровне, содержит решение актуальной научной задачи, имеющей теоретическую и практическую ценность. Представленные в работе исследования достоверны, результаты и выводы обоснованы и экспериментально подтверждены. Содержание диссертации в достаточной мере и своевременно опубликовано в научной печати. В изданиях из Перечня ведущих рецензируемых научных журналов, включенных Высшей аттестационной комиссией России в список изданий, рекомендуемых для опубликования основных научных результатов диссертации на соискание ученой степени кандидата и доктора наук,



опубликовано 2 статьи, внесено в международную систему научного цитирования Scopus 2 работы. Результаты доложены автором на ведущих Всероссийских и международных конференциях и семинарах. Автореферат достаточно полно и правильно отражает содержание диссертации.

Тематика и содержание диссертационного исследования соответствуют специальности 01.01.09 – «Дискретная математика и математическая кибернетика». Работа отвечает всем требованиям, предъявляемым ВАК к кандидатским диссертациям, а ее автор Домахина Людмила Григорьевна заслуживает присуждения ей учёной степени кандидата физико-математических наук.

Официальный оппонент

доцент ФГБОУ ВПО Тульский государственный университет,  
кандидат физико-математических наук

О.С. Середин

29 апреля 2014 г.

Подпись О.С. Середина удостоверяю.  
Начальник административно-кадрового управления  
Тульского государственного университета



М.В. Метелищенкова