

Утверждаю

Заместитель директора ФГБУН  
Института системного анализа  
Российской академии наук  
по научной работе  
д.ф.-м.н. профессор



Г.С. Осипов

2014 г.

## ОТЗЫВ

ведущей организации

на диссертацию Домахиной Людмилы Григорьевны  
«Скелетная сегментация и циркулярная морфология многоугольников»,  
представленную на соискание ученой степени  
кандидата физико-математических наук по специальности  
01.01.09. Дискретная математика и математическая кибернетика

### Актуальность темы диссертации

Одной из многообещающих областей приложения дискретной математики и математической кибернетики является создание новых методов и средств, предназначенных для анализа и распознавания изображений объектов по форме с целью их сравнения и классификации. Описание плоской фигуры в виде множества срединных осей, т.е. её скелета, представляет собой мощный инструмент для анализа структуры фигуры. Скелетное представление, имеющее вид графа, даёт достаточно полное описание фигуры, по которому можно восстановить исходный объект. Однако такое описание избыточно и не подходит для решения задач классификации формы, поскольку скелетное представление содержит много неинформативных лишних ветвей. Кроме того, скелетное представление неустойчиво, так как при незначительных изменениях фигуры топологические и метрические свойства скелета могут существенно измениться. Для повышения качества скелетного представления необходимо удалить неинформативные шумовые ветви или, как принято говорить, провести «стрижку скелета». Существующие методы решения этой задачи используют, в основном, эвристические правила, основанные на визуальных и субъективных оценках. Поэтому разработка новых подходов к сегментации выделенных на изображении объектов и определение строгих критериев выбора скелетных представлений, подходящих для решения задач сравнения формы, чему посвящена диссертационная работа Д.Г. Домахиной, являются задачами актуальными и важными, как с научной, так и с практической точек зрения.

### Основные положения и результаты работы

Первая глава посвящена постановке задачи скелетной сегментации. Рассмотрен вопрос качества сегментации, описаны основные причины неустойчивости скелета, введено понятие базового скелета и базовой скелетной сегментации.

Во второй главе предложено понятие циркулярной морфологии и связанные с ним понятия аппарата математической морфологии на множестве циркуляров. Доказаны важные свойства циркулярных функций штрафа. Задача поиска наилучшей сегментации поставлена как задача оптимизации размерности описания при сохранении качества сегментации. Дано описание структуры множеств монотонных вложенных подциркуляров, в которых

содержатся оптимальные подциркуляры. Важное свойство предложенной оптимизационной задачи состоит в том, что функция устойчивости проекции имеет противоположный смысл критерию соответствия. Данное свойство позволяет доказать, что минимум циркулярной функции штрафа существует. Введено понятие циркуляра общего положения как циркуляра, монотонная терминальная стрижка которого отстригает на каждой итерации ровно по одному его ребру. Это позволяет найти на множестве циркуляров общего положения оптимальный циркуляр, выбрав его из множества вложенных монотонных подциркуляров.

В третьей главе рассмотрена задача скелетной сегментации пар фигур. Циркулярная функция штрафа определяется при помощи условия изоморфизма скелетов (циркуляров). Соответствующая задача поиска оптимальной пары циркуляров поставлена как задача минимизации такой циркулярной функции с функцией устойчивости – индикатором изоморфизма. Доказано существование и единственность решения задачи поиска оптимальной пары циркуляров на множестве циркуляров общего положения, которое может быть найдено за полиномиальное время. Предложен алгоритм конструктивного поиска оптимального решения. Возможность вычисления минимума циркулярной функции позволяет использовать его в качестве расстояния между парой фигур. Поэтому данный метод скелетной сегментации применим к реальным задачам классификации или распознавания форм. Показано, что алгоритм поиска оптимальной сегментации обладает полиномиальной сложностью по минимальному числу ребер одного циркуляра из пары. Предложены методы уменьшения вычислительной сложности при использовании других расстояний и информации о предыдущих шагах алгоритма.

Четвертая глава посвящена применению оптимальных скелетных сегментаций к задачам сравнения форм, а также экспериментам по распознаванию изображений объектов. Предложены меры сходства формы на основе циркулярных функций, описанных в предыдущих главах работы. Доказано, что предложенные меры сходства являются расстояниями. Проведен ряд экспериментов, использующих введенные меры сходства: запросы близких форм из баз данных, классификация формы фигур на выборках небольших (до 200 фигур) размерностей. Эксперименты подтверждают применимость предложенных в работе подходов к задачам сравнения формы.

Материал диссертации изложен ясным языком, на хорошем уровне формализации, со строгими определениями и четкими математическими формулировками. Широко использован современный математический аппарат.

#### **Научная новизна основных результатов**

Отметим основные результаты диссертации, обладающие научной новизной.

Критерий качества скелетной сегментации фигуры, основанный на определении функции штрафа при помощи противоположных по смыслу функций соответствия и устойчивости. Метод скелетной сегментации фигуры, основанный на минимизации циркулярной функции штрафа.

Критерий качества и метод скелетной сегментации пары фигур.

Алгоритм нахождения точного решения оптимальной сегментации пары фигур, основанный на определении циркулярной функции штрафа для пары фигур с учётом априорной информации об изоморфизме скелетов и на минимизации функции штрафа для пары циркуляров фигур. Доказательство существования и единственности решения.

Циркулярная мера сходства формы фигур, основанная на проекции циркулярной функции штрафа на множестве пар циркуляров.

#### **Практическая значимость результатов**

Практическая значимость диссертации определяется тем, что разработанные модель циркулярной морфологии и эффективные алгоритмы построения скелетов могут быть

использованы для решения широкого класса исследовательских и прикладных задач анализа и распознавания изображений, таких как: машинное зрение, классификация, распознавание жестов, биометрическая идентификация, телемедицина и др.

Результаты диссертационной работы использованы при выполнении проектов РФФИ 05-01-00542 «Методы распознавания формы изображений на основе дискретно-непрерывных преобразований»; 08-01-00670 «Методы анализа и распознавания формы изображений на основе непрерывных моделей». Материалы диссертации могут быть использованы в учебном курсе «Обработка и распознавание изображений» при подготовке специалистов по направлению «Прикладная математика и информатика».

### **Замечания**

Диссертационная работа Л.Г. Домахиной не лишена недостатков. Во второй главе описана регуляризация скелета по Тихонову, которая далее не применяется ни в этой, ни в последующих главах при разработке теории циркулярной морфологии. В работе показано, что циркулярное расстояние с условием изоморфизма является полуметрикой. Однако остается неясным, насколько данное обстоятельство ограничивает практическую применимость разработанного способа сравнения фигур. В третьей главе предложены идеи по оптимизации алгоритма поиска оптимальной пары циркуляров. В то же время эти идеи не оформлены в виде соответствующих алгоритмов, а в четвертой главе не указано, использовались ли указанные идеи оптимизации на практике.

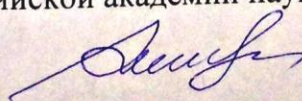
### **Заключение**

Отмеченные недостатки не снижают в целом положительную оценку диссертационного исследования Л.Г. Домахиной. Диссертация является завершённой научно-квалификационной работой, которая обладает необходимой степенью обоснованности научных положений, выводов и заключений, достоверностью и новизной полученных результатов. Задача скелетной сегментации и циркулярной морфологии многоугольников имеет важное теоретическое значение, а её решение, предложенное в диссертации, представляет определенную научную ценность. Работа соответствует паспорту специальности 01.01.09. Дискретная математика и математическая кибернетика по области исследований: 5. Математическая теория распознавания и классификации. Автореферат достаточно полно и объективно отражает содержание диссертации. Основные результаты опубликованы в 15 печатных работах, из них 2 работы в периодических изданиях, входящих в перечень ВАК РФ, доложены на международных и всероссийских научных конференциях.

Диссертационная работа удовлетворяет всем требованиям Положения о порядке присуждения ученых степеней, утвержденного Постановлением Правительства РФ, предъявляемым к кандидатским диссертациям по специальности 01.01.09. Дискретная математика и математическая кибернетика, а её автор, Домахина Людмила Григорьевна, заслуживает присуждения ученой степени кандидата физико-математических наук.

Отзыв на диссертацию обсужден и одобрен на заседании межлабораторного научного семинара Института системного анализа РАН (протокол № 2 от 11.03.2014 г.).

Заведующий лабораторией «Методы и системы поддержки принятия решений»  
ФГБУН Института системного анализа Российской академии наук  
доктор технических наук, профессор



А.Б. Петровский