

Иванов Петр Алексеевич

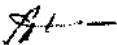
МЕТОДЫ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧИ ФОРМИРОВАНИЯ ВОЛНОВЫХ
ФРОНТОВ В СХЕМАХ ИНВАРИАНТНЫХ ОПТИКОЭЛЕКТРОННЫХ
ЛАЗЕРНЫХ КОРРЕЛЯТОРОВ ИЗОБРАЖЕНИЙ

01.04.21-лазерная физика

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание ученой степени
кандидата физико-математических наук

Автор:



МОСКВА

2004

Работа выполнена в Московском инженерно-физическом институте
(государственном университете)

Научный руководитель: доктор физ.-мат. наук,
профессор Евтихий Николай Николаевич

Официальные оппоненты: доктор физ.-мат. наук,
профессор Компанец Игорь Николаевич

Официальные оппоненты: кандидат физ.-мат. наук,
доцент Одинокое Сергей Борисович

Ведущая организация: Санкт Петербургский государственный технический
университет, г. Санкт Петербург

Защита ~~состоится~~ **21 ноября** в **14** часов на заседании диссертационного совета Д 212.130.05
в Конференц-зале Московского инженерно-физического института по адресу: 115409,
Москва, Каширское шоссе, 31, тел. 321-91-67

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке МИФИ.

Автореферат разослан " ____ " октября 2004 г.

Ученый секретарь диссертационного
совета Д 212.130.05



Евсеев И. В.

2005-4
21861

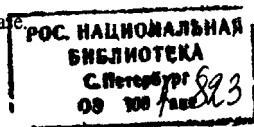
925320

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность проблемы

В последние годы одной из перспективнейших и наиболее быстро развивающихся областей квантовой электроники является оптическая обработка информации. Весьма перспективным подходом, в связи с высокой степенью параллелизма оптических вычислений, естественностью осуществления операций типа свертки/корреляции в оптике, наличием высокоскоростных электронных средств постобработки данных, является применение возможностей оптоэлектроники в задачах формирования волновых фронтов и распознавания изображений. Одним из наиболее широко в настоящее время используемых схемотехнических решений таких задач, ввиду хорошей технологической разработанности соответствующей элементной базы, широкой доступности высокочувствительных фотоприемных устройств, средств пост и предобработки, является когерентный оптико-электронный лазерный коррелятор изображений. В таких устройствах распознавание производится на основе вычисления корреляции входного изображения с эталоном (т.е. изображением, в состав которого входит полная информация обо всех объектах, которые необходимо распознать в случае наличия таковых во входных данных), формируется соответствующий волновой фронт, после чего анализируются свойства выходного сигнала лазерного коррелятора. В случае наличия в выходном сигнале пиков, превышающих некоторое заранее заданное пороговое значение, говорят о распознавании входного изображения (или наличии распознанного объекта в поданной на вход лазерного коррелятора сцене).

В связи с этим, естественно, крайне важное значение приобретает вопрос о выборе эталонного изображения. К сожалению, применение наиболее простого, так называемого "традиционного" метода, при котором в качестве эталона используется изначальное изображение (т.е. изображение некоторого объекта, соответствующего наилучшим условиям освещенности, отсутствию помех и т.п.) распознаваемого объекта, сопряжено с существенными трудностями. Так, геометрические преобразования входного распознаваемого объекта, помехи приводят к резкому ухудшению характеристик выходного корреляционного пика, что делает крайне сложным, а зачастую и просто невозможным успешное решение задачи. Кроме того, при использовании такого подхода для задач формирования волновых фронтов и различения изображений в реальном масштабе времени необходимо хранить базу данных, содержащую весь набор необходимых эталонов, что крайне неудобно и существенно замедляет процесс распознавания, т.к. необходимо провести столько корреляций входных данных с эталонами, сколько их хранится в указанной базе.



Поэтому в настоящее время большой интерес вызывают методы формирования волновых фронтов и корреляционного различения изображений, основанные на использовании в качестве эталона составного инвариантного корреляционного фильтра (далее КФ). Важной особенностью такого подхода является инвариантность (или стабильность, по крайней мере) выходного корреляционного пика к тому типу геометрических преобразований или помех входного объекта, который является основой для реализации алгоритма построения КФ и заранее закладывается в сам алгоритм его построения. Кроме того, большинство современных алгоритмов построения КФ допускают их модификацию с целью улучшения характеристик выходного пика и расширения класса решаемых распознавательных задач.

В связи с указанными обстоятельствами перспективы разработки и применения методов формирования волновых фронтов и различения изображений с использованием инвариантных КФ на базе инвариантных оптикоэлектронных лазерных корреляторов изображений вызывают неуклонно растущий интерес. Работы по исследованию методов различения изображений на основе инвариантных КФ активно в настоящее время ведутся как за рубежом, так и в России.

Цель работы

Настоящая диссертационная работа посвящена разработке оптимальных инвариантных КФ для решения задач формирования волновых фронтов и корреляционного распознавания изображений путем сравнительного теоретического анализа и сравнения его результатов с данными, полученными экспериментально, и имеет своей целью:

- Нахождение оптимальных инвариантных КФ путем сравнительного анализа различных алгоритмов построения инвариантных КФ для схем оптикоэлектронных лазерных корреляторов изображений, определение их принципиальных ограничений.
- Разработку модели многофункционального КФ, основанной на интегральных преобразованиях входных данных.
- Применение КФ к задаче распознавания полутоновых изображений сложных сцен

Научная новизна

1. Впервые проведены экспериментальные и теоретические исследования по разработке и синтезу универсального КФ для применения в задачах корреляционного различения изображений.

2. Впервые разработана модель КФ с базисным ядром, основанная на интегральных вейвлет-преобразованиях входного объекта и теоретически подтверждена возможность их применения в задачах формирования волновых фронтов и различения изображений, в том числе для различения полутоновых изображений сложных сцен.
3. На базе макета гибридных оптоэлектронных микросхем экспериментально подтверждена возможность синтеза КФ с базисным ядром на основе вейвлета Хаара.
4. Впервые КФ с линейными фазовыми коэффициентами (LPCCF) вместе с алгоритмами оконтуривания применены для различения полутоновых изображений сложных сцен.

Научная и практическая ценность

Практическая ценность полученных результатов заключается в том, что они служат теоретической и экспериментальной основой для разработки и применения инвариантных КФ в схемах оптоэлектронных лазерных корреляторов для решения широкого круга задач формирования волновых фронтов и корреляционного различения изображений, в том числе полутоновых изображений сложных сцен

Основные положения, выносимые на защиту:

1. Разработка ряда типов инвариантных КФ для схем оптоэлектронных лазерных корреляторов изображений.
2. Экспериментальное и теоретическое обоснование методики создания инвариантных КФ для задач формирования волновых фронтов и корреляционного различения изображений. Теоретические оценки параметров корреляционных пиков для рассматриваемых КФ и их экспериментальное подтверждение.
3. Разработка КФ с линейными фазовыми коэффициентами (LPCCF) для решения задачи распознавания полутоновых изображений сложных сцен.
4. Экспериментальное подтверждение возможности расчета КФ с базисным ядром на основе вейвлет-преобразований на базе схем гибридных микросхем.

Авторский вклад. Все выносимые на защиту результаты диссертационной работы получены лично автором или при его непосредственном участии.

Апробация работы

Основные результаты диссертации докладывались на следующих конференциях:

16-й и 17-й международный симпозиум "Аэрокосмические датчики - SPIE" (Орландо, США, 2002, 2003 гг.), международный симпозиум Оптического Общества США OSA Annual Meeting (Орландо, 2002 г.), международный научный симпозиум SPIE Photonics East (Провиденс, США, 2003 г), вторая международная конференция SPIE "Фундаментальные проблемы опто- и микро- электроники" (Владивосток, Россия, 2002 г.), всероссийская научная конференция "Научная сессия МИФИ " (Москва, Россия, 2001,2002,2003,2004 гг.).

Исследования проводились в рамках грантов РФФИ и программ Минобразования РФ.

Публикации:

Материалы диссертации опубликованы в 22 печатных работах среди которых 3 рецензируемых, их список приведен в конце автореферата.

Структура и объем диссертации

Диссертационная работа состоит из введения, пяти глав с выводами, заключения, списка цитированной литературы и приложения. Работа изложена на 174 страницах машинописного текста и включает в себя 85 рисунков, 3 таблицы и 22 гистограммы. Список литературы содержит 96 наименований.

КРАТКОЕ СОДЕРЖАНИЕ ДИССЕРТАЦИИ

Во введении обоснована актуальность проведенных исследований и их практическая значимость, сформулирована цель исследования, представлены основные результаты, составившие научную новизну работы, сформулированы положения, выносимые на защиту.

В первой главе рассмотрен один из наиболее перспективных на сегодняшний день способов решения задач формирования волновых фронтов и различения изображений оптикоэлектронной лазерной корреляционной системой - применение инвариантных КФ. Проанализированы схемы оптикоэлектронных лазерных корреляционных систем - когерентные оптико-цифровые корреляторы Ван - дер - Люгта и совместного преобразования, отмечена их адекватность задаче оперативного сравнения бинарных контуров сложных сцен. Отмечено преимущество применения КФ к задачам формирования волновых фронтов и различения изображений, составляющих большие массивы данных. Проведен детальный анализ современной научно-технической литературы по методам построения КФ для решения широкого круга задач формирования

волновых фронтов и распознавания изображений. Отмечено, что одной из важнейших проблем корреляционного различения изображений является сохранение свойств корреляционного пика при различного рода геометрических искажениях входного изображения. Данные анализа показывают, что универсальных методов, позволяющих эффективно решать подобную задачу на сегодняшний день не существует, тем не менее, имеется большое количество различных исследований более частных случаев этой проблемы, результаты которых позволяют надеяться на успешное решение более общей задачи. На основе анализа выбраны для детального рассмотрения как приводящие к наилучшим результатам следующие КФ по способу их построения:

Алгоритмы построения инвариантных КФ на основе синтеза функции дискриминации (SDF), фильтры с линейными фазовыми коэффициентами (LCPPF)

Алгоритмы построения инвариантных КФ на базе вычисления инвариантного параметра: фильтры с минимальной средней энергией корреляции (MACE, GMACE, SMACE)

Алгоритм построения инвариантных КФ на основе радиальных гармоник Меллина

Во второй главе рассмотрена оригинальная, предложенная автором диссертационной работы модель построения инвариантного КФ, основанная на применении интегральных преобразований входного сигнала (на примере одного из таких преобразований, а именно вейвлет - преобразования), анализируются свойства полученного КФ. Показано, что предложенный инвариантный КФ, обладая всеми свойствами соответствующей функции (вейвлета), одновременно является, в силу крайней легкости модификации, многофункциональным инвариантным КФ, обладающим устойчивым, в ряде случаев, инвариантным (в частности, к изменению масштаба и сдвигу распознаваемого объекта) выходным корреляционным пиком. Теоретически показано, что в силу выбора способа построения инвариантного КФ и свойств лежащей в его основе функции (вейвлета) предложенный алгоритм построения может быть легко сведен, причем, без потери собственных инвариантных свойств, к некоторым хорошо известным алгоритмам построения инвариантных КФ, в частности, как показано, к MACE (GMACE) фильтрам.

В третьей главе проведено моделирование распознавания изображений тестового набора, содержащего как тривиальные с точки зрения геометрии, так и нетривиальные объекты, средствами цифровой ЭВМ при помощи всех различных инвариантных КФ, анализ которых был произведен в предыдущих главах данной диссертационной работы. Рассчитаны значения выходных корреляционных пиков, проанализированы их свойства.

При моделировании был создан набор программных средств, состоящий из нескольких вычислительных и вспомогательных модулей.

1. Модуль считывающий изображение из BMP-файла в двухмерную матрицу. Он также переводит изображение в двухбитный формат в целях оптимизации вычислительного процесса (для построения КФ). Также он производит небольшое «подшумление» исходного изображения, представляющее собой белый шум, для приближения моделирования к реальным условиям.
2. Модуль оконтуривания, который подвергает процессу оконтуривания матрицу исходного изображения и процессу выделения контура, по выбранному алгоритму оконтуривания, который выбирается для решения конкретной задачи.
3. Модуль вычисления КФ по заданным параметрам, в которые входят: размерность изображения и количество компонентов КФ.
4. Модуль, производящий корреляцию.
5. Модуль построения результирующей корреляционной картины различными методами, такими как плоская проекция или 3D - косоугольная проекция.

Посредством указанного набора программных средств проведено моделирование распознавания изображений тестового набора, на основе которого произведено сравнение характеристик выходных корреляционных пиков для всех типов КФ, рассмотренных в предыдущих главах. Отмечено улучшение характеристик корреляционного пика в случае применения алгоритмов LPCCF и КФ с базисным ядром

В четвертой главе проведен анализ типов архитектур оптикоэлектронных процессоров, реализованных в виде гибридных микросхем. Произведен расчет (математическое моделирование) такой системы с учетом влияния шумов. На базе имеющегося макета канала такой системы проведены эксперименты по широтно-импульсной модуляции, подсчету сверток/корреляций, расчета коэффициентов вейвлет-преобразования Хаара. Размерность макета до 500x3, максимальное эквивалентное быстродействие до 10 опер/сек. Получены устойчивые выходные сигналы макета, с точностью до шумов макета соответствующие расчетным сверткам/корреляциям входных сигналов. На основании результатов математического моделирования и экспериментального макетирования сделан вывод о возможности синтеза КФ на базе ГМ.

В пятой главе произведено решение практической задачи распознавания объектов по данным полутоновых изображений сложных сцен путем применения инвариантного КФ с линейными фазовыми коэффициентами. Был проведен детальный анализ научно-технической литературы по методам выделения контуров изображений. На основе данного анализа выбраны и применены для предварительной обработки изображений методы

"Canny" и "Sobel". На основе набора оконтуренного набора фотографий местности с различным атмосферным фактором помех произведено моделирование применения КФ с линейными фазовыми коэффициентами (LPCCF) для распознавания фрагментов изображений, подвергнутых преобразованиям типа "поворот" и "изменение масштаба". КФ с линейными фазовыми коэффициентами (LPCCF) синтезирован на основе набора фрагментов сцен, подвергнутых вышеуказанным преобразованиям с шагом в 5 градусов или процентов для каждого типа преобразования соответственно. Примеры результатов моделирования представлены на Рис.1

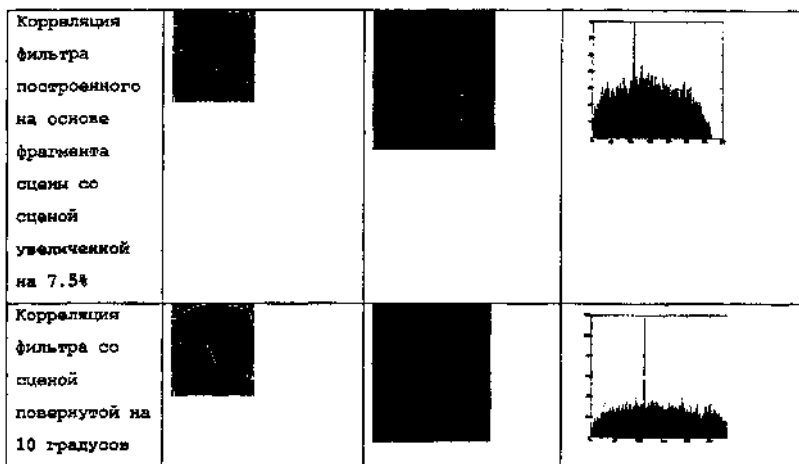


Рис. 1 Результаты применения КФ

Отмечено наличие хороших корреляций КФ со сценой, подвергнутым преобразованиям поворота и изменения масштаба, соответствующих промежуточным значениям преобразований, не входившим в состав изображений обучающего набора. Сделан вывод о возможности решений такого рода задач путем применения КФ.

ОСНОВНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ

Основные результаты, полученные при выполнении настоящей диссертационной работы, могут быть сформулированы следующим образом:

1. Определена перспективность применения методов синтеза инвариантных корреляционных фильтров (КФ) для формирования когерентных волновых фронтов в схемах оптоэлектронных корреляторов при решении ряда задач распознавания изображений. Проведен детальный анализ существующих

методов синтеза КФ. Предложен новый способ построения инвариантных КФ с базисным ядром, основанный на вейвлет-преобразовании.

2. Проведен синтез MACE, G MACE, LPCCF КФ, а также КФ с базисным ядром. Проведен расчет корреляций для построенных КФ. Получены качественные и хорошо локализованные пики для всех изображений имевшегося тестового набора, подвергнутых различным типам геометрических искажений.
3. Отмечена возможность выполнения основной вычислительной нагрузки при синтезе КФ на базе гибридных микросхем (ГМ) Создана математическая модель ГМ. Модель включает в себя шумовые характеристики элементов и погрешности сборки ГМ. Получены результаты прогнозирования точности вычислений ГМ.
4. На базе макета канала ГМ проведены эксперименты по применению широтно-импульсной модуляции для представления аналоговых сигналов ГМ. Проведены эксперименты по применению цифрового представления сигналов ГМ. Экспериментально вычислены значения дискретного вейвлета Хаара. Результаты математического моделирования и экспериментального макетирования подтверждают возможность синтеза КФ на базе ГМ с производительностью 10^{11} опер/сек.
5. Проведены исследования, по решению практической задачи распознавания полутоновых изображений сложных сцен подвергнутых одновременно искажениям типа «поворот» и «изменение масштаба». На основе анализа инвариантных свойств и методов выделения контуров, необходимых для решения задачи, произведен выбор инвариантного КФ с линейными фазовыми коэффициентами. Для контуров с оптимальной шириной построены инвариантные КФ. Полученные пики качественные и хорошо локализованы. Отмечено сохранение качества корреляционных пиков, для промежуточных значений искажений, не входивших в состав изображений обучающего набора.

ПУБЛИКАЦИИ ПОТЕМЕДИССЕРТАЦИИ

1. Н.Н. Евтихийев, М.И. Забулонов, П.А. Иванов, А.В. Каменский, Р.С. Стариков «Вычисление коэффициентов вейвлет преобразования на базе макета гибридной оптоэлектронной микросхемы» // Научная сессия МИФИ-2000, т.4, М., МИФИ 2000, стр.55-56.
2. Н.Н. Евтихийев, П.А. Иванов, А.В. Каменский, Р.С. Стариков «Макетирование оптического процессора, реализованного в виде гибридной микросхемы. Часть I:

вычисление интегральных функционалов интенсивности» // Научная сессия МИФИ-2000, т.4, М., МИФИ 2000, стр.193-194.

3. Н.Н. Евтихийев, М.И. Забулонов, П.А. Иванов, А.В. Каменский, К.С. Немковский, Р.С. Стариков «Обзор оптических методов реализации вейвлет преобразований» // Научная сессия МИФИ-2001, т.4, М., МИФИ 2001, стр. 215-216.

4. Н.Н. Евтихийев, П.А. Иванов, Р.С. Стариков «Новая модель построения корреляционных фильтров с базисным ядром» // Научная сессия МИФИ-2002, т.4, М., МИФИ 2002, стр. 44-45.

5. Н.Н. Евтихийев, П.А. Иванов, Р.С. Стариков, А.В. Шевчук «Моделирование на ПЭВМ засветки матрицы ПЗС линейками лазерных диодов в схеме ОМП ГМ» // Научная сессия МИФИ-2002, т.4, М., МИФИ 2002, стр. 208-209.

6. П.А. Иванов, А.А. Маркилов, Р.С. Стариков «Компьютерное моделирование синтеза корреляционных фильтров с минимальной средней энергией корреляции» // Научная сессия МИФИ-2002, т.4, М., МИФИ 2002, стр. 212-213.

7. Н.Н. Евтихийев, П.А. Иванов, Р.С. Стариков «Обзор способов построения корреляционных фильтров для задач корреляционного различения изображений» // Научная сессия МИФИ-2002, т.4, М., МИФИ 2002, стр. 210-211.

8. N.N. Evtikhiev, P.A. Ivanov, A.V. Kamensky, R.S.Starikov "New filters for optical correlators" // AeroSense'2002, Orlando, proc. SPIE vol 4735,2002, pp. 33 - 40.

9. N.N. Evtikhiev, P.A. Ivanov, A.V. Kamensky, R.S. Starikov, M.I. Zabulonov "Experiments on realization of wavelet transform based on architecture of hybrid optoelectronic chip" // Optical memory & neural network vol 11, No1 2002, pp. 39-43.

10. N.N. Evtikhiev, P.A. Ivanov, A.V. Lyapin, A.V. Shevchuk, R.S. Starikov "Wavelet based invariant correlation filters", 2002 OSA Annual Meeting/ Laser Science XVIII, Final Program, p. 121.

11.N.N. Evtikhiev, P.A. Ivanov, R.S. Starikov "Invariant correlation filters design in problems of image recognition", APCOM'2002, Vladivostok, proc. SPIE vol 5129,2002, pp.92-99.

12. N.N. Evtikhiev, P.A. Ivanov, R.S. Starikov "New type of invariant correlation filters for image recognition", АТОМ'2002, Bucharest, proc. SPIE 2002.

13. Н.Н. Евтихийев, А.В. Захарцев, П.А. Иванов, А.С. Ляпин, С.А. Сироткин, Р.С. Стариков, А.В. Шевчук «Разработка, синтез и исследование инвариантных корреляционных фильтров для задач корреляционного различения изображений» // Научная сессия МИФИ-2003, т.4 М, МИФИ стр.51.

14. П.А. Иванов, А.С. Ляпин, А.А. Маркилов, Р.С. Стариков «Компьютерное моделирование синтеза корреляционных фильтров на базе радиальных гармоник Меллина

для оптико-электронных корреляторов» // Научная сессия МИФИ-2003, т.4 М, МИФИ стр.212-213.

15. N.N. Evtikhiev, P.A. Ivanov, A.S. Lyapin, S.A. Sirotkin, A.V. Shevchuk, R.S. Starikov, A.V. Zaharchev "New wavelet basis kernel filters (WBKF) based image recognition", // AeroSense'2003, Orlando, proc. SPIE, vol.5106,2003.

16. N. N. Evtikhiev, P.A. Ivanov, A.S. Lyapin, A.V. Shevchuk, S.I. Sirotkin, R.S. Starikov, A.V. Zaharchev "Computer simulations for comparison of pattern recognition based on different variants of distortion invariant correlation filters" // Photonic East'2003, Providence, proc. SPIE 2003.

17. Н.Н. Евтихийев, А.В. Захарцев, П.А. Иванов, А.С. Ляпин, Б.М. Рейзин, С.А. Сироткин, Р.С. Стариков, А.В. Шевчук «Сравнение дискриминационных свойств инвариантных корреляционных фильтров» // Научная сессия МИФИ-2004, т.4 М, МИФИ стр.46.

18. Н.Н. Евтихийев, А.В. Захарцев, П.А. Иванов, Б.М. Рейзин, С.А. Сироткин, Р.С. Стариков «Синтез LPCC фильтров для задач корреляционного различения изображений. Часть I: инвариантность к повороту» // Научная сессия МИФИ-2004, т.4 М, МИФИ стр.228.

19. Н.Н. Евтихийев, А.В. Захарцев, П.А. Иванов, Б.М. Рейзин, С.А. Сироткин, Р.С. Стариков «Синтез LPCC фильтров для задач корреляционного различения изображений. Часть II: инвариантность к изменению масштаба и инвариантность «поворот и изменение масштаба»» // Научная сессия МИФИ-2004, т.4 М, МИФИ стр.230.

20. N. N. Evtikhiev, P.A. Ivanov, A.S. Lyapin, B.M. Reyzin, A.V. Shevchuk, S.I. Sirotkin, R.S. Starikov, A.V. Zaharchev, Synthesis and research of LPCC invariant correlation filters for pattern recognition, proc. APCOM2004pp. 221-226

21. Н.Н. Евтихийев, М.И. Забулонов П.А. Иванов А.В. Каменский Р.С. Стариков А.В. Шевчук, "Разработка оптических вычислителей в виде гибридных микросхем и микромодулей: Компьютерное моделирование и экспериментальное макетирование", Научные Технологии (в печати)

22. Н.Н. Евтихийев, А.В. Захарцев, П.А. Иванов, Б.М. Рейзин, С.А. Сироткин, Р.С. Стариков Синтез и исследование инвариантных фильтров с линейным фазовым коэффициентом для задач оптикоэлектронного корреляционного различения изображений, Научные Технологии (в печати)

Принято к исполнению 21/10/2004
Исполнено 21/10/2004

Заказ № 390
Тираж: 120 экз.,

ООО «11-й ФОРМАТ» ИНН 7726330900
Москва, Балаклавский пр-т, 20-2-93
(095) 747-64-70
(095) 318-40-68
www.autoreferat.ru

№20555

РНБ Русский фонд

2005-4

21861