

На правах рукописи

Злоказов Евгений Юрьевич

**Инвариантные корреляционные фильтры с линейным
фазовым коэффициентом для лазерных систем
корреляционного распознавания изображений**

Специальность 01.04.21 – лазерная физика

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание ученой степени
кандидата физико-математических наук

Автор:

Москва 2011

Работа выполнена на кафедре "Лазерная физика" Национального
исследовательского ядерного университета "МИФИ"

Научный руководитель: доктор физико-математических наук, профессор
Евтихий Николай Николаевич

Официальные оппоненты: доктор физико-математических наук, профессор
Компанец Игорь Николаевич

кандидат технических наук, доцент
Одинокое Сергей Борисович

Ведущая организация: Национальный исследовательский университет
СПбГПУ (НИУ СПбГПУ)

Защита состоится 27 марта 2011г. в ___ часов на заседании диссертационного
совета Д 212.130.05 при Национальном исследовательском ядерном универ-
ситете "МИФИ" по адресу: 115409, Москва, Каширское ш., 31, 323-95-26

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке НИЯУ МИФИ.

Автореферат разослан " _ " _____ 2011 г.

Учёный секретарь
диссертационного совета

Евсеев И.В.

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Корреляционное распознавание изображений является одним из наиболее широко применяемых и перспективных инструментов для поиска, идентификации, локализации и слежения за объектами относительно сложных форм. Перспективность методов корреляционного распознавания обусловлена возможностью их реализации в высокоскоростных системах распознавания образов, использующих оптико-электронные устройства, принцип работы которых основан на применении методов оптической обработки информации.

Методы корреляционного распознавания основаны на сравнении входного изображения с изображениями эталонных объектов из базы данных системы распознавания. Ранее корреляционные методы нашли успешное применение в таких технических решениях, как системы автоматической медицинской диагностики, системы биометрического и голографического доступа по изображению ключа, системы обработки данных высокочастотных антенных решеток и т.д. Как правило, решаемые с помощью устройств перечисленных типов задачи не требуют оперативности счёта, что даёт возможность их создания с использованием исключительно электронных вычислительных средств.

Для высокой эффективности функционирования таких устройств, как бортовые навигационные системы с ориентацией по изображениям местности, системы идентификации, классификации и слежения за быстродвижущимися объектами схожих форм, системы поиска и регистрации лиц в видеопотоке изображений трафика в реальном времени, необходимо использование изображений в высоком разрешении, а так же осуществление оперативного поиска эталонных изображений в больших базах данных. Перспективным методом достижения высоких скоростей вычислений в данном случае является реализация методов корреляционного распознавания в оптико-электронных корреляционных системах. В качестве основного функционального устройства такие системы используют когерентные корреляторы изображений.

Интерес к оптико-электронным устройствам обработки информации связан с возможностью достижения высоких скоростей выполнения вычислительных операций благодаря высокому параллелизму обработки данных. В

течение последнего десятилетия существенное развитие получили оптические устройства маршрутизации и коммутации потоков данных в высокопроизводительных вычислительных системах, оптические специализированные процессоры, в том числе оптические матричные процессоры, и радиооптические устройства. Производительность таких устройств достигала 10^{13} операций с фиксированной точкой в секунду, в то время как скорость счёта аналогичных исключительно электронных устройств не превышает 10^{10} операций в секунду. Наряду с этим, развитие элементной базы устройств отображения и считывания изображений открыло возможности для разработки оптико-электронных корреляционных устройств для систем высокоскоростного распознавания образов.

В настоящее время имеется информация о ряде успешных реализаций оптико-электронных устройств распознавания, основанных на когерентных корреляторах изображений. К примеру, разработана и коммерчески освоена система чтения и понимания дорожных знаков компании Cambridge Correlators, рекордными характеристиками обладают системы слежения за подвижными целями, основанные на оптико-электронных корреляторах изображений Jet Propulsion Lab. (NASA), в Японии разработана оптическая корреляционная система распознавания лиц, а также сервер осуществляющий быструю фильтрацию нелегального видео контента FARCO и т.д.

Суть метода корреляционного распознавания заключается в вычислении двумерной корреляционной функции между изображениями входного и эталонного объектов. По характеристикам результирующего корреляционного распределения, а в частности по наличию или отсутствию корреляционного пика, его локализации, интенсивности и ширине делают вывод о принадлежности входного объекта к классу эталонного. Существенной проблемой корреляционного метода является его неустойчивость к шумам и помехам входного изображения. Для адекватного распознавания необходимо, чтобы корреляционный пик обладал характеристиками, достаточными для выделения его на фоне всего выходного распределения, которое может включать в себя ложные корреляционные пики и шумы различной природы. Ложные

корреляционные пики могут появиться как следствие корреляции эталона с ложными объектами. Наличие шумов во входной плоскости может привести к снижению точности локализации интересующего объекта в плоскости входного изображения. Наравне с этим, метод корреляционного распознавания не устойчив к возможным искажениям самого изображения эталонного объекта. Применение в качестве эталона математически синтезированных инвариантных корреляционных фильтров (далее КФ), содержащих информацию как об эталонном объекте, так и об его возможных искажениях, позволяет в той или иной степени избавиться от перечисленных недостатков.

Особый практический интерес представляет распознавание объектов, представленных в виде бинарных контурных изображений. Достижения в области алгоритмов оконтуривания, используемых для предобработки входных изображений, в ряде случаев дают возможность устойчивого распознавания в условиях переменной освещённости эталонного объекта либо в условиях ограниченной видимости. Анализ показывает, что перспективным для устойчивого к искажениям и помехам распознавания бинарных контурных изображений является использование составного инвариантного корреляционного фильтра с линейным фазовым коэффициентом (далее КФ ЛФК).

Идея синтеза и применения КФ ЛФК для инвариантного распознавания объектов была предложена Л. Хассебрукком (Hassebrook 1990). С момента их появления КФ ЛФК посвящен целый ряд работ по исследованию различных аспектов их синтеза, по их применению в условиях конкретных постановок задачи распознавания. Результаты этих работ свидетельствуют о высоких характеристиках распознавания бинарных контурных изображений с применением КФ ЛФК. Однако, несмотря на достоинства, комплексная природа фильтра ограничивает возможность его реализации в схемах когерентных корреляторов изображений. В работе (Hassebrook 1994) была предпринята попытка реализации КФ ЛФК в схеме коррелятора с фильтрацией в плоскости пространственных частот (4-F коррелятор) на основе метода псевдослучайного чисто фазового кодирования, который оказался критически сложным и малоприменимым при практическом использовании. Применение методов

цифровой голографии в сочетании с использованием устройств отображения с высоким разрешением делает возможной реализацию КФ ЛФК в виде чисто амплитудных либо чисто фазовых голографических фильтров, синтезированных по аналогии с методом записи голограмм Вандер Люгта. Однако, сведения о подобной реализации КФ ЛФК в схеме дифракционного коррелятора Вандер Люгта отсутствуют.

Для достижения рекордной производительности когерентных корреляторов изображений необходимо использовать устройства с как можно меньшим временем отклика. Доступные в настоящее время высокочастотные модуляторы с большим разрешением обладают ограниченным динамическим диапазоном модуляции пропускания. Наиболее быстрыми являются бинарные модуляторы света. Исследование влияния ограничений динамического диапазона модуляции на распознавательную способность и исследование возможностей применения бинарной модуляции при реализации синтезированных голографических корреляционных фильтров играет ключевую роль при разработке оптико-электронных корреляционных устройств для систем высокоскоростного распознавания изображений.

В соответствии с выше указанным, **целью диссертации** является разработка методов реализации и применения инвариантных корреляционных фильтров с линейным фазовым коэффициентом (КФ ЛФК) в современных лазерных системах корреляционного распознавания изображений.

Для достижения указанной цели были поставлены следующие задачи:

1. Проведение исследования особенностей синтеза и распознавательных характеристик КФ ЛФК.
2. Исследование и разработка методов реализации КФ ЛФК в виде синтезированных дифракционных элементов в схемах когерентных оптических корреляторов изображений.
3. Численное моделирование работы когерентного оптического коррелятора изображений на основе синтезированных дифракционных элементов

в условиях использования носителей с ограниченным динамическим диапазоном модуляции.

4. Численное моделирование работы когерентного оптического коррелятора изображений на основе синтезированных дифракционных элементов, реализованных с помощью бинарных голографических носителей.
5. Экспериментальное макетирование когерентного оптического коррелятора изображений на базе КФ ЛФК, реализованных с использованием бинарных голографических носителей.

Научная новизна диссертации состоит в следующем:

1. Анализ свойств и характеристик фильтров с линейным фазовым коэффициентом (КФ ЛФК) показал перспективность их применения в высокоскоростных лазерных корреляционных системах распознавания. Показано, что характеристики современных голографических носителей допускают реализацию КФ ЛФК в схемах когерентных корреляторов изображений в виде синтезированных дифракционных элементов.
2. Впервые предложен метод реализации КФ ЛФК в схеме когерентного оптического коррелятора изображений в виде синтезированных Фурье-голограмм с использованием либо чисто амплитудных либо чисто фазовых носителей. Выявлены основные ограничения, определяющиеся характеристиками используемого голографического носителя.
3. На основании результатов численного моделирования работы когерентного оптического коррелятора Вандер Люгта, использующего голографические носители с ограниченным динамическим диапазоном модуляции впервые определены допустимые и достаточные границы числа уровней представления пропускающего голографического фильтра соответствующего исследуемому КФ ЛФК.
4. На основании результатов численного моделирования работы когерентного оптического коррелятора изображений, использующего бинарные

голографические носители для реализации КФ ЛФК в виде Фурье-голограммы впервые установлено, что из всех исследованных методов прямой бинаризации только метод Отсу в ряде случаев позволяет сохранить распознавательные характеристики голографического фильтра. В случае реализации фильтра с использованием для представления уровней пропускания бинарного раstra впервые определена нижняя граница требуемого числа представляемых уровней.

5. Впервые экспериментально продемонстрирована реализация КФ ЛФК в схеме когерентного оптического коррелятора изображений в виде амплитудных Фурье-голограмм с использованием бинарных голографических носителей.

Практическое значение диссертации заключается в том, что она служит теоретической и экспериментальной базой для создания высокоскоростных лазерных корреляционных систем распознавания изображений. Предложенный в работе метод реализации инвариантных корреляционных фильтров в виде специально синтезированных голографических элементов, даёт возможность применять современные средства модуляции лазерного излучения для их реализации в когерентном корреляторе изображений.

Основные научные положения, выносимые на защиту:

1. Инвариантные корреляционные фильтры с линейным фазовым коэффициентом (КФ ЛФК) могут быть реализованы в когерентном корреляторе Вандер Люгта в виде синтезированных Фурье-голограмм (голографических фильтров) для высокоскоростного устойчивого к искажениям распознавания бинарных контурных изображений.
2. Расчётным путём показано, что КФ ЛФК обеспечивают устойчивость распознавания к различного вида геометрическим искажениям входного объекта относительно эталонного, в том числе при зашумлении входного объекта до 4 – 6%.

3. На основании результатов численного моделирования установлено, что для реализации КФ ЛФК в схеме коррелятора Вандер Люгта в виде синтезированных голографических фильтров могут быть использованы пространственно-временные модуляторы света с ограниченным динамическим диапазоном представления пропускания. При этом ограничение числа уровней пропускания голографического фильтра до 32 не приводит к заметным изменениям в результате распознавания.
4. Численно и экспериментально апробирован способ реализации голографических фильтров в корреляторе Вандер Люгта с использованием бинарных голографических носителей. Показано, что для представления синтезированных голограмм в ряде случаев могут быть использованы методы прямой бинаризации изображений. Также показана возможность использования бинарного растра для представления уровней пропускания голографического фильтра. Определено, что при этом число реализуемых уровней пропускания должно быть не менее 16.

Апробация работы. Результаты диссертации докладывались на конференциях: на международной конференции SPIE "Security + Defence" (Тулуза, Франция, 2010); на международной конференции SPIE "Holography: Advances and Modern Trends" (Прага, Чешская Республика, 2009); на международной конференции SPIE "Defence and Security" (Орландо, США, 2008, 2009 гг); на VI Международной конференции "Фундаментальные проблемы оптики" (С-Пб., ИТМО, 2010); международной конференции молодых учёных и специалистов "Оптика-2007" (С-Пб., ИТМО, 2007); на всероссийских научных конференциях "Научная сессия МИФИ" (Москва, 2007, 2008, 2009, 2010 гг); на "Всероссийской Выставке Научно-Технического Творчества Молодёжи НТТМ-2008" (Москва, ВВЦ, 2008), где были награждены дипломом.

Публикации по теме диссертации. По теме диссертации опубликовано 20 печатных работ, среди них: 4 статьи в рецензируемых журналах, 6 - в трудах международных конференций, 10 - в трудах всероссийских конференций.

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Результаты исследований в рамках диссертационной темы изложены в следующем порядке.

Первая глава содержит обзор сведений о методах инвариантного к искажениям корреляционного распознавания изображений, а также вариантов их реализации в схемах когерентных корреляторов изображений.

В §1.1 приведён подробный обзор современной литературы по методам инвариантного корреляционного распознавания изображений. Все рассмотренные подходы разделены по принципу реализации на две группы: методы, основанные на выделении из изображения входного объекта гармонических компонент, инвариантных либо к повороту, либо к масштабированию изображения входного объекта, и методы использования составных объектов синтезированных на основе тренировочного набора изображений эталонного объекта, подвергнутого заранее определенному типу искажений. Отмечено, что перспективным для задач распознавания объектов, представленных в виде бинарных контурных изображений является составной фильтр с линейным фазовым коэффициентом (КФ ЛФК).

В §1.2 главы рассмотрены основные схемы когерентных оптических корреляторов изображений. На основании исследования специфики работы и характеристик приведённых в параграфе схем корреляторов установлено, что наиболее экономичной для реализации КФ ЛФК является схема 4-F коррелятора, фильтрующий элемент которого изготовлен в соответствии с методом реализации голограмм Вандер Люгта. Также в параграфе приведены основы метода цифрового голографического синтеза, соответствующего методу Вандер Люгта. В конце главы предоставлен обзор современных средств модуляции лазерного излучения, рассмотрены основные технические характеристики и сделаны выводы о возможности их использования в качестве средств ввода оптической информации в когерентный оптический коррелятор изображений.

Вторая глава посвящена синтезу и исследованиям корреляционных характеристик КФ ЛФК, исследованию преимуществ и недостатков вариантов

их реализации в схемах когерентных корреляторов изображений и моделированию работы когерентного 4-F коррелятора на основе синтезированных фильтров, реализованного в виде голограммы Вандер Люгта.

В §2.1 второй главы приведены примеры синтезированных и исследованных фильтров. В качестве эталонных объектов использовались объекты как простых, так и относительно сложных форм.

Для подробного исследования характеристик и специфики синтеза КФ ЛФК, в качестве эталонного и ложных объектов были выбраны объекты, представленные на рис.1. Задача распознавания была сформулирована следующим образом: необходимо распознать объект эталонного класса среди всех тестовых объектов, в условиях плоского поворота объекта во входной плоскости в диапазоне 180° .

Все используемые объекты обладают схожими размерами, толщиной контура, отдельными элементами и суммарной интенсивностью. В качестве установленного критерия распознавания было выбрано следующее условие: интенсивность корреляционного пика для всех изображений объекта эталонного класса, искажённого в установленных пределах, должна быть выше порогового уровня, выбранного по максимальному значению интенсивности пиков для всех изображений объектов ложных классов.

Проведено исследование кросс-корреляционных свойств эталонного и ложных объектов. На основании зависимостей интенсивности пика корреляции изображения неискажённого эталонного объекта с изображениями тестовых объектов от угла отклонения объекта во входной плоскости от нулевого положения был выбран угловой шаг для составления тренировочного набора

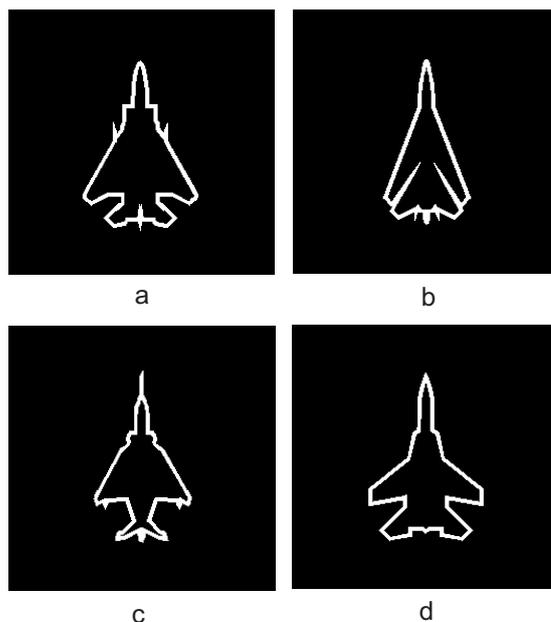


Рис. 1: Изображения тестовых объектов: a — эталонный объект (True); b-d — ложные объекты (False 1-3)

изображений для синтеза КФ ЛФК – 10°.

С использованием специального программного обеспечения, на основании составленного тренировочного набора, КФ ЛФК был синтезирован. Амплитуда синтезированного фильтра представлены на рис.2. Численный расчет корреляций синтезированного фильтра со всеми изображениями тестовых объектов показал положительные результаты, соответствующие установленному критерию распознавания.

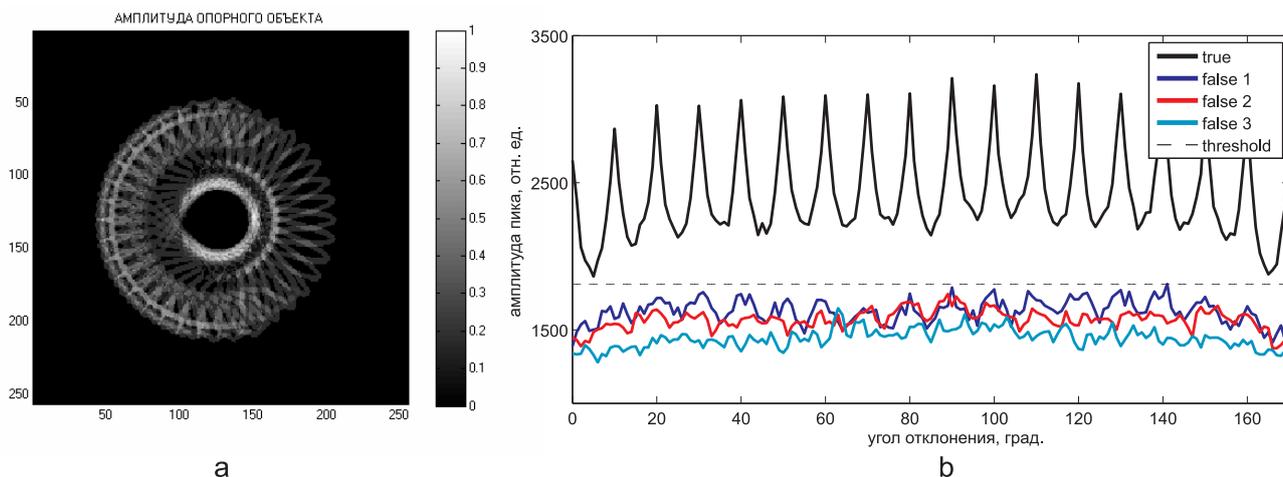


Рис. 2: *a* — амплитуда синтезированного фильтра; *b* — зависимость интенсивности пика корреляции синтезированного КФ ЛФК с изображениями тестовых объектов от угла отклонения объекта во входной плоскости

В §2.2 исследованы границы применимости синтезированного КФ ЛФК. Приведён пример объекта, корреляционно не отличимого от эталонного с помощью синтезированного фильтра. В качестве основных причин потери распознавательной способности фильтра в данном случае установлены следующие: кратность элементов ложного объекта с элементами тренировочных изображений, а также не достаточно высокое отношение интенсивности автокорреляционного пика для эталонного изображения к максимальной интенсивности пика кросс-корреляции эталонного со всеми вариантами изображений ложного объекта (в случае объектов, представленных на рис.1 $AC/CC \geq 2,70$; в данном случае $AC/CC = 2,39$).

§2.3 посвящён исследованию влияния бинарного зашумления входного изображения на распознавательную способность КФ ЛФК. Установлено, что КФ ЛФК сохраняет способность к инвариантному распознаванию эталонного

объекта при величине уровня бинарного шума во входном изображении до 5%.

Оставшаяся часть второй главы диссертации посвящена исследованию вариантов реализации синтезированного КФ ЛФК в схемах когерентных корреляторов изображений, а также расчёту голограммы Вандер Люгта и исследованию распознавательных свойств 4-F коррелтора на основе синтезированной голограммы, как наиболее экономичного способа реализации синтезированного КФ ЛФК. Расчёт откликов голограммы и выходных сигналов коррелятора показал, что КФ ЛФК, реализованный в виде голографического фильтра в корреляторе Вандер Люгта с помощью либо чисто амплитудных либо чисто фазовых голографических носителей сохраняет способность к распознаванию эталонного объекта в соответствии с установленным критерием распознавания.

На рис. 3 изображены увеличенная центральная часть синтезированной голограммы, а также рассчитанный и экспериментально измеренный отклик голограммы. На рис. 4 изображены примеры рассчитанных выходных сигналов коррелятора.

Третья глава диссертации посвящена численному исследованию работы когерентного оптического коррелятора изображений на основе синтезированной голограммы, реализованной как с помощью пространственно-временных модуляторов света с ограниченным динамическим диапазоном модуляции пропускания, так и с помощью бинарных голографических носителей. Для

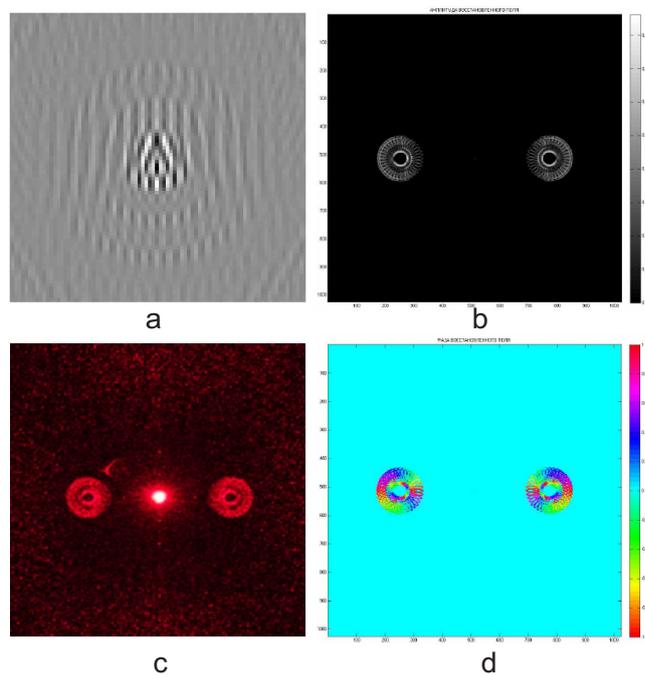


Рис. 3: Рассчитанная голограмма её отклик: *a* — увеличенная центральная часть голограммы; *b, d* — рассчитанные амплитуда и фаза отклика голограммы; *c* — интенсивность отклика голограммы, измеренная экспериментально

этого проводилось исследование выходных сигналов коррелятора, а также анализ среднеквадратичного отклонения (СКО) откликов искажённых при такой реализации голограмм от отклика оригинальной голограммы.

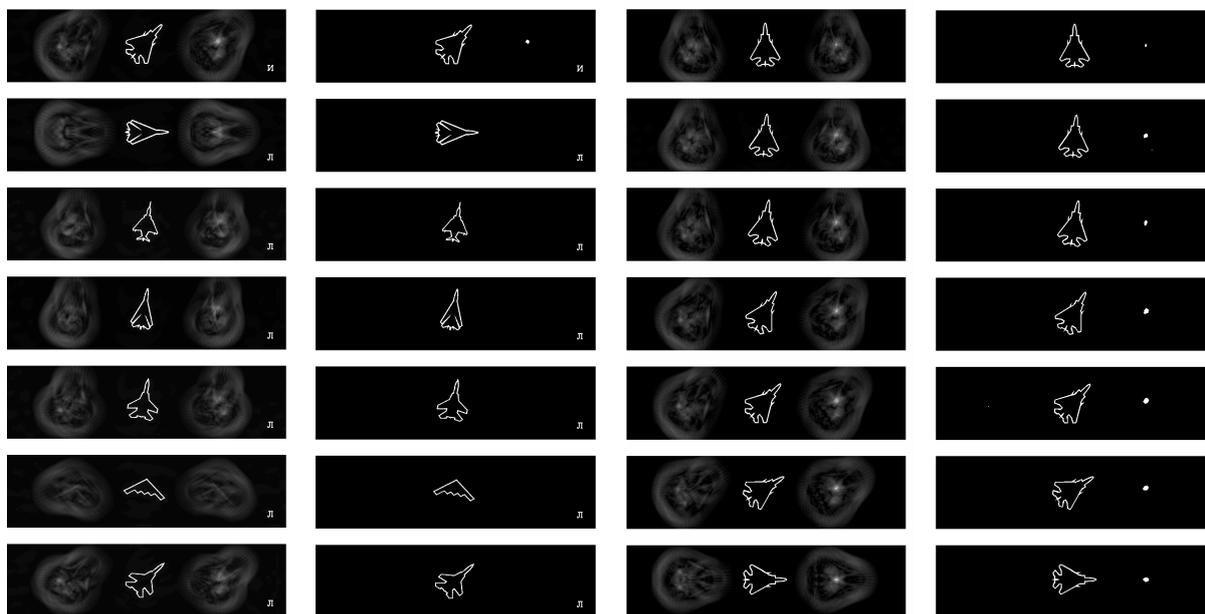


Рис. 4: Измеренные выходные сигналы коррелятора Вандер Люгта и сигналы, подверженные обработке операцией порог

В §3.1 рассмотрены принципиальные основы для проведения подобного исследования. Современные голографические носители с высоким разрешением и большой частотой смены кадров обладают ограниченным динамическим диапазоном модуляции пропускания. Наиболее интересны для задачи распознавания объектов по их изображениям в реальном времени являются носители с бинарной модуляцией пропускания благодаря наибольшей частоте раскадровки.

Однако, подобные ограничения могут существенно повлиять на распознавательные способности КФ ЛФК, реализованного в корреляторе Вандер Люгта с использованием таких носителей. В связи с этим влияние ограничений диапазона модуляции на результат распознавания требует отдельного рассмотрения.

В §3.2 приведены результаты численного моделирования работы коррелятора Вандер Люгта, использующего модуляторы с ограниченным динамическим диапазоном модуляции пропускания (рис. 5(a)).

Установлено, что для полного сохранения результатов распознавания достаточно реализовать не более 32 уровней пропускания голограммы. Исследование СКО откликов голограмм с ограниченным пропускаем от голограмм, представленных с полной точностью показало, что при ограничении числа уровней пропускания до величины меньшей 16 в ряде случаев может привести к потере распознавательной способности фильтра, однако в рамках поставленной задачи, распознавательная способность фильтра сохраняется при ограничении вплоть до 4-ёх уровней градации пропускания голограммы.

§3.3 посвящён исследованию возможности применения бинарных модуляторов для реализации синтезированного КФ ЛФК в корреляторе Вандер Люгта.

Первый пункт **§3.3** содержит результаты исследования возможности применения стандартных методов бинаризации изображений для реализации голограммы с помощью бинарных носителей. Рассмотрены как методы локального порога (метод Ниблака и метод гистограмм), так и метод глобального порога (метод Отсу). Численное моделирование работы когерентного оптического коррелятора изображений на основе синтезированной голограммы реализованной с помощью бинарных носителей показало, что из методов прямой бинаризации изб-

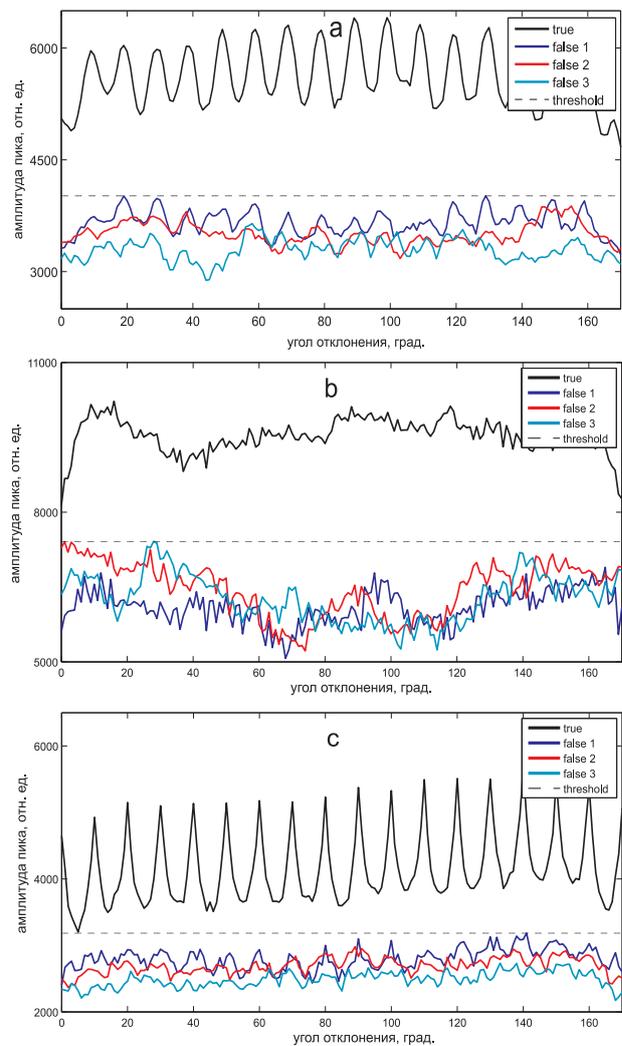


Рис. 5: Рассчитанные зависимости интенсивности корреляционного пика на выходе коррелятора от угла ориентации входного объекта для случаев реализации голограммы: а — с сохранением 4 уровней пропускания; б — бинаризованной методом Отсу; с — с передачей 16 уровней пропускания с использованием бинарного раstra

ражений только метод Отсу позволяет инвариантное распознавание объекта, выбранного в качестве эталонного (рис. 5(b)). Однако, величина СКО отклика бинаризированной голограммы от отклика оригинальной не гарантирует адекватного распознавания в условиях другой постановки задачи распознавания.

Во втором пункте **§3.3** рассмотрена возможность использования бинарного растривания для представления уровней пропускания голограммы. Исследования показали, что использование стохастического бинарного растривания для представления уровней градации пропускания, позволяет сохранить распознавательные характеристики голографического фильтра, при этом количество реализуемых уровней пропускания голограммы должно быть не менее 16 (рис. 5(c)).

Четвёртая глава текста диссертации посвящена экспериментальной реализации синтезированного КФ ЛФК в схеме 4-F коррелятора в виде рассчитанной голограммы Ванлер Люгта с использованием бинарных голографических носителей. Два способа реализации голограмм с использованием бинарных модуляторов были рассмотрены: посредством бинаризации по порогу, вычисленному по методу Отсу, и с использованием бинарного стохастического растривания для представления градаций пропускания.

В **§4.1** представлены результаты измерения интенсивности импульсных откликов голограмм. Полученные световые распределения качественно соответствуют расчётным.

В **§4.2** приведена схема экспериментального макета 4-F коррелятора, а также дано описание основных элементов схемы.

§4.3 текста диссертации посвящён экспериментам по измерению выходных сигналов коррелятора. Измерен ряд выходных распределений как для эталонного так и для ложных объектов, подвергнутых повороту в пределах от 0 до 170°, для обоих способов реализации голограммы. На рис. 6 представлены некоторые примеры измеренных выходных сигналов, а также сигналов, подверженных постобработке операцией порог. Результаты экспериментального моделирования качественно повторяют результаты расчётов.

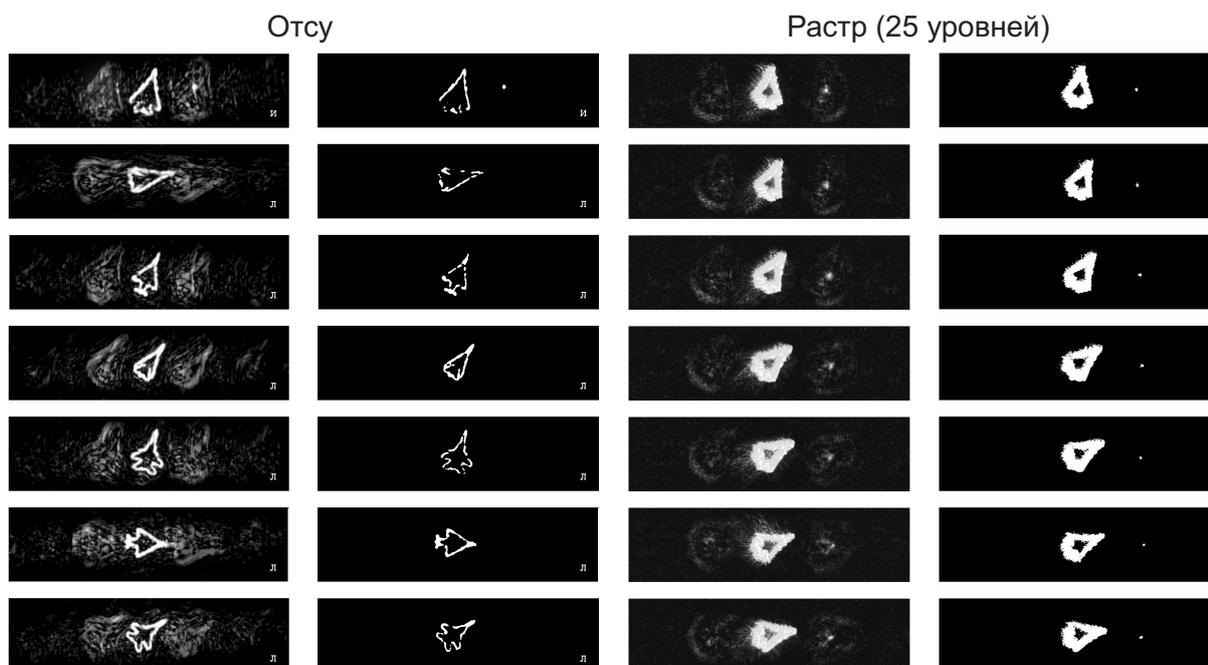


Рис. 6: Примеры измеренных выходных сигналов коррелятора и сигналов, подверженных операции порог

Заключительная, **пятая глава** текста диссертации посвящена исследованию возможности реализации синтезированного КФ ЛФК в схеме когерентного коррелятора изображений с использованием устройств полной комплексной модуляции света. Возможность появления устройств, осуществляющих полную комплексную модуляцию как по амплитуде так и по фазе послужила основой для исследований вариантов реализации КФ ЛФК в схеме 4- F коррелятора. Фильтр в данном случае реализуется в виде Фурье-спектра в плоскости пространственных частот. Рассмотрены три принципиальных случая реализации голограммы: с ограничением модуляции и амплитуды, и фазы; с бинаризацией и амплитуды и фазы (трёхуровневый фазо-амплитудный фильтр – ТУФаФ) и с бинаризацией амплитуды и ограниченным представлением пропускания фазы.

В §5.1 представлены результаты моделирования 4- F коррелятора использующего полную комплексную модуляцию света с ограничением модуляции и амплитуды и фазы. Предельным случаем подобной реализации, при котором удовлетворяется установленный критерий распознавания, является случай реализации амплитуды с сохранением 8 уровней пропускания, фазы – 16

уровней градации.

Результаты моделирования коррелятора, использующего трёхуровневую фазо-амплитудную фильтрацию, представлены в параграфе §5.2. Несмотря на перспективность подобной реализации, распознавательная способность системы не сохраняется.

В §5.3 текста диссертации представлены результаты исследования возможности реализации синтезированного КФ ЛФК в схеме с 4-F коррелятора с бинарной модуляцией амплитуды и ограниченным представлением фазы.

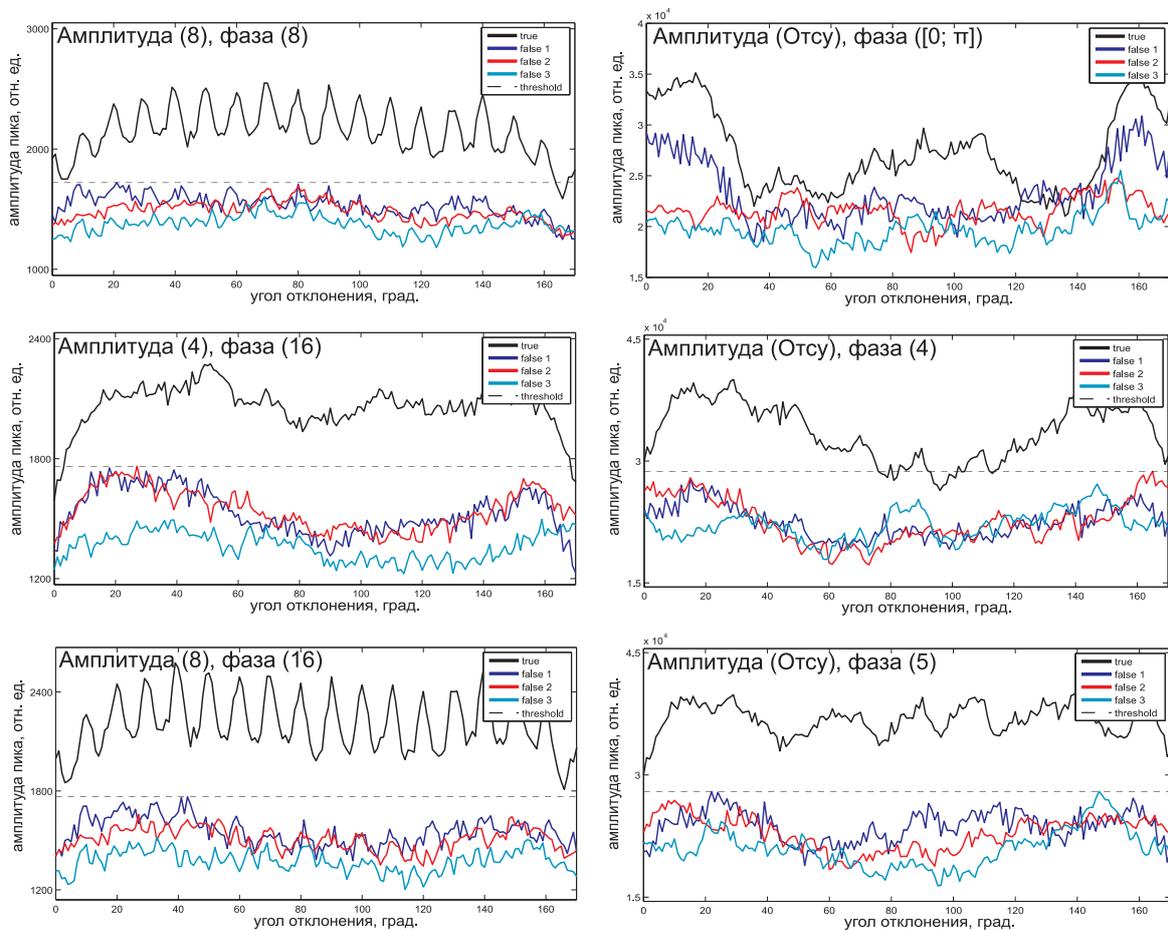


Рис. 7: Результаты численного исследования возможности реализации синтезированного КФ ЛФК в схеме 4-F коррелятора с использованием устройств полной комплексной модуляции света

В результате расчётов получилось, что предельным оказался случай реализации фильтра с бинаризацией амплитуды методом Отсу и сохранением 5 уровней пропуска фазы. Однако, величина СКО в данном случае не гарантирует распознавания в рамках других постановок условия задачи рас-

познавания.

Основные результаты исследования возможности применения полной комплексной модуляции в 4-F корреляторе для реализации КФ ЛФК представлены на рис. 7.

ОСНОВНЫЕ ВЫВОДЫ ДИССЕРТАЦИИ

1. Численное моделирование показало, что корреляционные фильтры с линейным фазовым коэффициентом (КФ ЛФК) обеспечивают устойчивость распознавания к различного вида геометрическим искажениям входного объекта относительно эталонного, в том числе при зашумлении входного объекта до 4 – 6%.
2. Разработан метод реализации инвариантных корреляционных фильтров с линейным фазовым коэффициентом (КФ ЛФК) в виде синтезированных Фурье-голограмм (голографических фильтров) в схеме коррелятора Вандер Люгта для высокоскоростных оптико-электронных систем распознавания объектов, представленных в виде бинарных контурных изображений. Показано, что при такой реализации фильтр сохраняет свои распознавательные свойства.
3. Показано, что для реализации фильтра в схеме коррелятора Вандер Люгта могут быть использованы голографические носители с ограниченным динамическим диапазоном модуляции пропускания. Установлено, что для полного сохранения распознавательных свойств фильтра достаточно сохранить не более 32 уровней представления пропускания голограммы.
4. Показана возможность применения бинарной модуляции в сочетании с методами прямой бинаризации изображений для реализации голограммы. Установлено, что из всех стандартных методов только метод глобального порога Отсу в ряде случаев даёт возможность сохранить распознавательные способности голограммы.

5. Исследована возможность применения бинарного раstra для представления уровней пропускания голограммы с использованием бинарных модуляторов света. Установлено, что для сохранения распознавательной способности голографического фильтра в данном случае число передаваемых уровней пропускания должно быть не менее 16.
6. Осуществлена экспериментальная реализация КФ ЛФК в схеме коррелятора Вандер Люгта с использованием голографических носителей с бинарной модуляцией.
7. Исследована возможность применения устройств полной комплексной модуляции света. Определены граничные требования при применении того или иного типа модуляции.

РАБОТЫ В ЖУРНАЛАХ ИЗ СПИСКА ВАК

- [1] Н.Н. Евтихийев, С.Н. Стариков, Е.Ю. Злоказов, С.А. Сироткин, Р.С. Стариков, "Реализация инвариантных голографических фильтров с линейным фазовым коэффициентом в схеме коррелятора Вандер Люгта," Квантовая электроника, Т. 38. №2, стр. 191 – 193 (2008).
- [2] Н.Н. Евтихийев, Е.Ю. Злоказов, Р.С. Стариков, А.В. Шевчук "Экспериментальное моделирование схемы прецизионного измерения кольцевых и секторных элементов пространственного спектра интенсивности изображений на базе массива фотодетекторов специальной топологии," Радиотехника и электроника т53, №11, стр.1410-1416 (2008).
- [3] N. N. Evtikhiev, E. Yu. Zlokazov, S. N. Starikov, R. S. Starikov, E. A. Shapkarina, and D. V. Shaulskiy, "LPCC filter realization in 4-F correlator of images with application of purely amplitude binary spatial modulation," Optical Memory and Neural Networks (Information Optics), Vol. 18, No. 3, pp. 141–150 (2009).
- [4] Н.Н. Евтихийев, С.Н. Стариков, Е.Ю. Злоказов, В.Г. Родин, Р.С. Стариков, "Инвариантные корреляционные фильтры с линейным фазовым коэффициентом: варианты реализации в схемах когерентных корреляторов изображений," Научно-технические ведомости СПбГПУ (Информатика. Телекоммуникации. Управление), №4, с.227-233 (2010).

ТРУДЫ МЕЖДУНАРОДНЫХ КОНФЕРЕНЦИЙ

- [5] Н.Н. Евтихийев, Е.Ю. Злоказов, С.А. Сироткин, Р.С. Стариков, С.Н. Стариков "Экспериментальная реализация инвариантных голографических фильтров с линейным фазовым коэффициентом в схеме коррелятора

Вандер Люгта, " Тезисы докладов 5 международной конференции молодых учёных и специалистов "Оптика-2007 С-Пб., электронное издание ИТМО (2007).

- [6] N. N. Evtikhiev, S. N. Starikov, S. A. Sirotkin, R. S. Starikov, E. Yu. Zlokazov, "LPCC invariant correlation filters: realization in 4-f holographic correlator," Proc. SPIE, Vol. 6977, 69770C (2008).
- [7] R. S. Starikov, E. Yu. Zlokazov, "Computer generated holographic invariant LPCC filters for 4-f correlator," Proc. SPIE, Vol. 7358, 73580W (2009).
- [8] N. N. Evtikhiev, S. N. Starikov, R. S. Starikov, E. Yu. Zlokazov, "LPCC filters realization as binary amplitude hologram in 4-f correlator: range limitation of hologram pixels representation," Proc. SPIE, Vol. 7340, 73400C (2009).
- [9] N. N. Evtikhiev, E. Yu. Zlokazov, S. N. Starikov, R. S. Starikov, and D. V. Shaulskiy, "Amplitude holographic LPCC filters for 4-f correlator: variants of binary realization," Proc. SPIE, Vol. 7835, 78350M (2010).
- [10] Злоказов Е.Ю., Старииков Р.С., Шаульский Д.В., "Реализация инвариантных корреляционных фильтров с линейным фазовым коэффициентом в схеме коррелятора Вандер Люгта в виде бинарных голограмм," сб. тезисов докладов конгресса "Фундаментальные проблемы оптики 2010 С-Пб., электронное издание ИТМО (2010).

ТРУДЫ ВСЕРОССИЙСКИХ КОНФЕРЕНЦИЙ

- [11] Н.Н. Евтихийев, Е.Ю. Злоказов, С.Н. Литовченко, С.А. Сироткин, Р.С. Старииков, "Синтез инвариантных корреляционных фильтров с линейным фазовым коэффициентом для дифракционных оптических корреляторов," Научная сессия МИФИ-2007, т.4, с.21, М., МИФИ (2007).
- [12] Н.Н. Евтихийев, Е.Ю. Злоказов, Р.С. Старииков, "Макетирование опто-электронного когерентного инвариантного коррелятора," Научная сессия МИФИ-2008, т.2, с.60, М., МИФИ (2008).

- [13] Н.Н. Евтихийев, Е.Ю. Злоказов, С.А. Сироткин, Р.С. Стариков, С.Н. Стариков, "Инвариантные корреляционные фильтры с линейным фазовым коэффициентом: реализация в виде бинарных амплитудных голограмм для схемы дифракционного коррелятора изображений," Научная сессия МИФИ-2008, т.2, с.157, М., МИФИ (2008).
- [14] Н.Н. Евтихийев, А.И. Володарский, Е.Ю. Злоказов, Р.С. Стариков, "Исследование методов бинаризации амплитудных голографических инвариантных корреляционных фильтров с линейным фазовым коэффициентом," Научная сессия МИФИ-2008, т.2, с.159, М., МИФИ (2008).
- [15] Н.Н. Евтихийев, Е.Ю. Злоказов, Р.С. Стариков, С.Н. Стариков, "Влияние ограничений динамического диапазона голограммы на характеристики инвариантных фильтров в корреляторе Вандер Люгта," Научная сессия МИФИ-2009, Аннотации докладов т.2, с.194, М., МИФИ (2009).
- [16] Е.Ю. Злоказов, "Моделирование влияния ограничений динамического диапазона голографических носителей на свойства инвариантных корреляционных фильтров, реализованных в виде компьютерно синтезированных голограмм," Научная сессия МИФИ-2009, XII конференция студентов и молодых учёных ч.1, с.181-182, М., МИФИ (2009).
- [17] Е.Ю. Злоказов, Д.В. Шаульский, "Инвариантные корреляционные фильтры с линейным фазовым коэффициентом: влияние характеристик обрабатываемых изображений," Научная сессия МИФИ-2010, XIII конференция студентов и молодых учёных ч.3, с.134, М., МИФИ (2010).
- [18] Е.Ю. Злоказов, Д.В. Шаульский, "Реализация инвариантных корреляционных фильтров с линейным фазовым коэффициентом в схеме коррелятора вандер люгта: влияние бинаризации," Научная сессия МИФИ-2010, XIII конференция студентов и молодых учёных ч.3, с.135, М., МИФИ (2010).
- [19] Н.Н. Евтихийев, С.Н. Стариков, Е.Ю. Злоказов, Р.С. Стариков, Д.В. Шаульский, "Реализация инвариантных корреляционных фильтров с линей-

ным фазовым коэффициентом в схеме коррелятора вандер люгта: влияние бинаризации," Научная сессия МИФИ-2010, Аннотации докладов т.2, с.215, М., МИФИ (2010).

- [20] Н.Н. Евтихийев, Е.Ю. Злоказов, Р.С. Стариков, Д.В. Шаульский, "Инвариантные корреляционные фильтры с линейным фазовым коэффициентом: влияние характеристик обрабатываемых изображений," Научная сессия МИФИ-2010, Аннотации докладов т.2, с.216, М., МИФИ (2010).