



4852396

Поцькайло Александр Анатольевич

**ИССЛЕДОВАНИЕ И РАЗРАБОТКА МЕТОДОВ ФОРМИРОВАНИЯ
РЕШАЮЩИХ ПРАВИЛ ПРИ КЛАССИФИКАЦИИ ФРАГМЕНТОВ
НА ПОЛУТОНОВЫХ ИЗОБРАЖЕНИЯХ**

Специальность 05.12.04 «Радиотехника,
в том числе системы и устройства телевидения»

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

1 СЕН 2011

Таганрог 2011

Работа выполнена на кафедре Радиоприемных устройств и телевидения
Технологического института
Южного федерального университета в г. Таганроге

Научный руководитель:

доктор технических наук, профессор Г.Г. Галустов
(Технологический институт ЮФУ в г. Таганроге)

Официальные оппоненты:

доктор технических наук, профессор
Федосов Валентин Петрович
(Технологический институт ЮФУ в г. Таганроге)

кандидат технических наук, доцент

Сучков Петр Валентинович

(Южно-Российский государственный университет экономики и сервиса,
г. Шахты)

Ведущая организация:

ФГУП «Таганрогский НИИ связи», г. Таганрог

Защита диссертации состоится 22 сентября 2011 г. в 14²⁰ в ауд. Д-406
на заседании диссертационного совета Д 212.208.20 при
Федеральном государственном автономном образовательном учреждении
высшего профессионального образования
«Южный федеральный университет» в Технологическом институте
ЮФУ по адресу: пер. Некрасовский, 44, г. Таганрог, Ростовская область,
ГСП-17А, 347928.

С диссертацией можно ознакомиться в Зональной библиотеке
Южного федерального университета по адресу:
ул. Пушкинская, 148, г. Ростов-на-Дону, 344065.

Отзыв на автореферат, заверенный гербовой печатью организации, просим
направлять по адресу: пер. Некрасовский, 44, г. Таганрог,
Ростовская область, ГСП-17А, 347928. ЮФУ, ученому секретарю
диссертационного совета Д 212.208.20.

Автореферат в печать 12 августа 2011 г.



Ученый секретарь
диссертационного совета,
к.т.н., доц.

В.В. Савельев

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы. Проблема распознавания изображений стала актуальной с момента появления автоматизации как на производстве, так и в различных сферах жизни человека. Это обусловлено, во-первых, активной работой в области создания автоматизированных систем наблюдения и контроля, во-вторых, попытками создания систем искусственного интеллекта. Важной составляющей, способствующей разработке подобных сложных систем, является значительный прогресс в создании как специализированных, так и универсальных высокопроизводительных ЭВМ. Однако задача распознавания образов оказывается достаточно сложной и решить её простым наращиванием производительности ЭВМ невозможно. Это во многом обусловлено сложностью формализации процесса восприятия различной природы информации (визуальной, акустической и пр.) и соотнесение её с системой образов живыми организмами. Поэтому, несмотря на кажущуюся легкость, с которой человек, как и другие живые организмы, решает задачу распознавания окружающих его предметов, формального универсального математического или технологического подхода, позволяющего разрабатывать алгоритмы, методы и автоматизированные системы, эффективно осуществляющие процесс распознавания, на данный момент нет.

Анализ трудов в этой области за последнее десятилетие показал, что достигнуты значительные теоретические результаты и в задачах параметрического, и в задачах непараметрического распознавания. Но многие из разработанных методов при хорошем теоретическом обосновании дают неприемлемые результаты при решении прикладных практических задач. Связано это с условными ограничениями и допущениями, принимаемыми исследователями при разработке методов классификации. Как правило, априорно принимается гипотеза о принадлежности функции плотности вероятности признаков какому-либо параметрическому семейству. Также, в большей части оптимальных теоретических методах априорно принимается гипотеза о статистической независимости выбранной системы признаков. В результате оценки вероятностей ошибок, получающихся при параметрическом распознавании, носят асимптотический характер, встречающийся на практике лишь в редких случаях при условно неограниченной длительности обучающих выборок.

Другой актуальной проблемой при распознавании является поиск устойчивых и инвариантных к различным видам преобразований системы информативных признаков изображения. Вместе с тем нельзя утверждать, что может быть получена единая система эффективных признаков для всех видов изображений. Связано это с тем, что при решении частной задачи для конкретного множества распознаваемых объектов может быть получено пространство признаков, эффективных только в этом частном случае. Также различные системы работают с определенными видами изображений, получаемых из различных источников (телевизионные изображения, тепловизионные изображения и т.д.). Весомый вклад в развитие решения проблемы поиска устойчивых информативных признаков при решении задач распознавания внесли: Соيفер В.А., Омельченко В.А., Ту Дж., Гонсалес Р., Вудс Р., Ярославский Л.П., Ковалевский В.А.,

Фомин Я.А., Тарловский Г.Р., Сенин А.Г., Киселев Н.В. и др. В работах этих авторов отражено, что эффективными признаками при классификации (распознавании) изображений являются моментные функции, корреляционные, а также спектральные, обладающие инвариантностью к различного рода преобразованиям.

Весь спектр решаемых при распознавании изображений задач условно можно представить в виде двух групп:

1. классификация изображений,
2. поиск и распознавание объекта на изображении.

Отсюда следует, что вероятность правильного распознавания объекта на полутоновом изображении зависит от точности решения первостепенной задачи – классификации изображений.

Настоящая работа преследует дополнение и расширение существующих исследований в направлении решения проблем распознавания сигналов стационарных полутоновых изображений, выбора эффективных алгоритмов классификации (распознавания) в условиях непараметрической априорной неопределенности, оптимизации временных и пространственных параметров распознающих систем при малых объемах обучающих выборок, характерных для телевизионных систем наблюдения и сопровождения.

Цели и задачи работы. Целью диссертационной работы является повышение эффективности решения задачи распознавания фрагментов на полутоновых изображениях на основе сформированного набора инвариантных признаков в условиях априорной непараметрической неопределенности и ограниченного объема обучающих выборок.

Для достижения поставленной цели необходимо решить следующие задачи:

1. Разработка и построение математических моделей сигналов полутоновых изображений, реализованного на основе аппроксимации функции правдоподобия.

2. Синтез решающего правила при непараметрической априорной неопределенности, позволяющего минимизировать использование априорных сведений о функции правдоподобия классифицируемых объектов.

3. Выбор системы признаков и разработка алгоритма формирования признаков с использованием метода стохастического кодирования сигналов. На основании системы признаков сформировать обучающие выборки фрагментов полутоновых изображений различных классов.

4. Исследование зависимости эффективности классификатора от времени обучения и распознавания, и размерности признакового пространства.

5. Исследование показателей качества и сложности разработанных алгоритмов при решении задач распознавания изображений в составе распознающих систем.

6. Численный эксперимент на ЭВМ, для исследования показателей качества разработанных алгоритмов при классификации изображений.

Методы исследования базируются на использовании методов теории вероятности и математической статистики, численных методов, статистической теории распознавания образов и принятия решений.

Научная новизна. В работе был получен ряд новых результатов:

1. Разработан алгоритм преобразования оцифрованных сигналов полутонных изображений объекта в одномерные реализации случайных процессов, подлежащих классификации.

2. Предложена методика синтеза решающего правила при непараметрической априорной неопределенности относительно закона распределения классифицируемой выборки, позволяющего минимизировать использование априорных сведений о функции правдоподобия классифицируемых объектов.

3. Разработан алгоритм формирования системы эффективных признаков, использующий реализации преобразованных сигналов полутонных изображений.

4. Получены оценки зависимости эффективности предложенного алгоритма классификации реализованных сигналов полутонных изображений от времени обучения и распознавания, от вида опорных распределений и размерности признакового пространства, позволяющие свести ошибку классификации к минимуму.

5. Вычислены и произведены сравнения оценок показателей сложности для разработанного алгоритма с известным алгоритмом формирования систем признаков.

6. Сформулированы условия целесообразности использования в системах распознавания изображений разработанных алгоритмов.

Практическая значимость и внедрение результатов работы. Разработанный алгоритм непараметрического классификатора (НК) по методу собственных областей класса (МСОК) с использованием стохастического кодирования имеет преимущество в 10...20% по суммарной вероятности ошибки распознавания над известным методом алгоритмом по методу k -ближайших соседей при определенных условиях. Научные и практические результаты были использованы в рамках темы «Стенд функционального контроля оптико-электронной системы слежения (СФКОЭСС)» отделом 15 НКБ «МИУС» (г. Таганрог) по договору 315077. Результаты диссертации были использованы при выполнении НИОКР в ФГУП «ТНИИС» при разработке устройств машинного распознавания графических образов динамики развития излучения радиоэлектронных средств. Диссертационная работа выполнялась в рамках госбюджетной работы «Разработка методов моделирования радиоэлектронных средств для информационно-телекоммуникационных систем повышенной эффективности» (Г/б 11056/1). Результаты работы представлены в виде программ непараметрической обработки шумоподобных сигналов на ЭВМ. Отдельные результаты работы были использованы в учебном процессе кафедры Радиоприемных устройств и телевидения Государственного автономного образовательного учреждения высшего профессионального образования «Технологический институт Южного федерального университета в г. Таганроге», в курсах «Устройства приема и обработки сигналов» и «Основы компьютерного проектирования».

Достоверность полученных результатов подтверждается экспериментальными исследованиями суммарной вероятности ошибки распознавания предлагаемых алгоритмов при классификации моделей сигналов фрагментов на полутонных изображениях в виде одномерных реализаций случайных процес-

сов с заданными статистическими характеристиками, апробацией на научных семинарах, конференциях, актами внедрения.

Основные положения, выносимые на защиту, следующие:

– предложена методика преобразования оцифрованных сигналов полутонных изображений объекта в одномерные реализации случайных процессов, подлежащих классификации;

– разработана методика синтеза решающего правила при непараметрической априорной неопределенности относительно закона распределения классифицируемой выборки, реализованная на основе аппроксимации функции правдоподобия;

– предложена методика формирования системы эффективных признаков, использующая реализации преобразованных сигналов полутонных изображений для сокращения времени обучения и распознавания;

– установлено, что эффективность предложенного алгоритма классификации реализованных сигналов полутонных изображений зависит от времени обучения и распознавания, от вида опорных распределений и размерности признакового пространства, позволяющие свести ошибку классификации к минимуму;

– сформулировано условие целесообразности использования в системах распознавания фрагментов на полутонных изображениях разработанных алгоритмов, зависящее от объема выборок, используемых для обучения..

Апробация диссертационной работы. Основные положения диссертационной работы обсуждались и докладывались: Международной научной конференции «Методы и алгоритмы принятия эффективных решений (МАПР-2009)» (Таганрог, 2009 г.); Всероссийской научной конференции «Современные исследовательские и образовательные технологии (СИОТ-2010)» (Таганрог, 2010 г.); X Всероссийской научной конференции студентов и аспирантов «Техническая кибернетика, радиоэлектроника и системы управления-2010 (КРЭС-2010)» (Таганрог, 2010 г.); Международной научной конференции «Информационное общество: идеи, технологии, системы-2010 (ИНФО-2010)» (Таганрог, 2010 г.); 56-й научно-технической конференции профессорско-преподавательского состава (Таганрог, 2011 г.); 13-й международной конференции «Цифровая Обработка Сигналов и её Применение» (DSPA-2011), (Москва, 2011 г.); Всероссийской научно-технической конференции с международным участием: «Компьютерные и информационные технологии в науке, инженерии и управлении» («КомТех-2011»), (Таганрог, 2011 г.).

Публикации. Основные научные результаты диссертации опубликованы в 9 печатных работах.

Структура и объем диссертации. Диссертационная работа состоит из введения, четырех глав, заключения и приложений.

Работа изложена на 178 стр. текста, 40 рисунках, 4 таблицах, а также содержит список литературы из 97 наименований и приложений.

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ:

Во *введении* сформулирована цель работы. Дано обоснование актуальности решаемой задачи распознавания фрагментов на полутонных изображениях.

В *первой главе* проведен анализ подходов применяемых при разработке алгоритмов распознавания фрагментов на полутоновых изображениях, реализуемых на основе методов статистической теории распознавания сигналов. Рассмотрены принципы формирования эффективных признаков по изображению, а также требования предъявляемые к ним.

Проведен анализ методов распознавания сигналов, при этом установлено, что большинство методов распознавания и способов оценки вероятностей ошибок распознавания разработаны для случаев неограниченного объема обучающих и контрольных выборок. Рассмотрены статистические методы распознавания, а также проанализированы основные этапы статистического распознавания:

- формирование признакового пространства;
- обучение системы распознавания;
- принятие решений.

Сформулирована постановка задачи формирования эффективных признаковых пространств и решающих правил, для систем распознавания фрагментов на полутоновых изображениях, работающих в условиях априорной неопределенности относительно вида распределения плотности вероятности распознаваемых сигналов и ограниченных объемов обучающих и контрольных выборок.

Произведена постановка задачи исследования возможности оптимизации временных параметров проектируемых систем распознавания, обеспечивающих заданный уровень достоверности распознавания, при заданных ограничениях.

Анализ существующих методов оптимизации систем распознавания показал, что в достаточной мере эти методы разработаны только для случая параметрической априорной неопределенности и статистической независимости выбранной системы признаков, что крайне редко встречается в практических задачах диагностики. Поэтому необходимо использовать методы непараметрической классификации и методы оптимизации временных и пространственных параметров классификатора.

В выводах по первой главе содержится формулировка цели диссертационной работы, а также задачи, решение которых необходимо для достижения поставленной цели.

Во *второй главе* произведено обоснование выбора в качестве объекта исследования сигналов полутоновых изображений, преобразованных в одномерные реализации случайных процессов, статистические характеристики которых могут служить, как отмечено в литературе, эффективными признаками при решении задачи их классификации. Ввиду чрезвычайной сложности и высокой вариабельности характеристик сигналы изображений обладают свойством обобщения, т.е. результаты, полученные для систем распознавания сигналов изображения, могут быть перенесены и на другие, например технические системы диагностики.

Рассмотрены и предложена математическая модель полутонового изображения, представляющая изображение как случайный процесс функции яркости. Наиболее часто пользуются моделью полутонового изображения, являющейся аппликативно аддитивной смесью, предложенной Нахи. Эта модель, позволяет учитывать статистические свойства изображений объекта и фона, а также веро-

ятности перехода элементов изображения «фон-объект» и «объект-фон». Однако, данная модель эффективна при решении задач определения координат центров изображений протяженных световых объектов и сопровождения динамических изображений объектов. В случае классификации статических изображений протяженных объектов может быть использована более простая модель изображений, где изображение представляется аддитивной смесью сигнала и шума:

$$Z(i, j) = A(i, j) + n(t), \quad (1)$$

где $A(i, j)$ – значение сигнала яркости в точке (i, j) ; $n(t)$ – белый шум, некоррелированный по пространству и времени, с нулевым средним $m_0 = 0$, средним квадратическим отклонением σ_0 .

Предложен новый подход к классификации сигналов изображений, основанный на переходе от двумерного представления изображения к системе одномерных реализаций. Суть подхода состоит в представлении полутонового изображения как системы выборочных строк в пределах одного кадра. Строки выбираются на изображении протяженного объекта через одинаковый интервал Δi , число строк на изображении может варьироваться. Для увеличения длины реализации формируемого процесса, выбираются эти же строки в последующих кадрах.

В качестве моделей сигналов полутоновых изображений, предназначенных для исследования эффективности алгоритмов классификации, предлагается использовать стационарные процессы, получаемые с использованием стохастического кодирования одномерных реализаций из системы выборочных строк.

Выбраны методы нормализации анализируемых полутоновых изображений, в частности яркостная нормализация и нормализация по площади протяженных объектов на изображениях. При нормализации протяженных объектов по площади предложено использование численного метода Монте-Карло.

Для формирования системы признаков выбран оператор неизоморфного преобразования исследуемых сигналов, обеспечивающий "сжатие" исходных сигналов при сохранении (в смысле заданного критерия) информации о делимости распознаваемых классов сигналов. В качестве укрупненного описания сигналов предложен оператор, определяемый выражением

$$L = M[y] = \int_{-\infty}^{\infty} \varphi(x) p(x) dx, \quad (2)$$

где $M[\cdot]$ – обозначает операцию математического ожидания над величиной, указанной в квадратных скобках; $p(x)$ – плотность распределения исследуемого процесса; $y = \varphi(x)$ – детерминированная нелинейная функция без наложенных на нее ограничений

$$\varphi(x) = F_{\eta}(x) = P_{\eta}[X \leq x]. \quad (3)$$

Если в качестве нелинейной функции $\varphi(x)$ использовать функцию распределения $F_{\eta}(x)$ некоторого опорного случайного процесса, то оператор L будет представлять собой статистический момент, который можно использовать

в качестве признака анализируемого процесса. В частном случае если $F_{\eta}(x) = x^k$, то в этом случае

$$M[y] = \int_{\Omega} x^k p(x) dx, \quad (4)$$

где Ω – область определения анализируемого сигнала.

Функции распределения опорного сигнала $F_{\eta}(x)$ выбираются на этапе обучения из условия получения максимальной достоверности классификации.

Определены статические характеристики оператора преобразования, которые необходимы для построения разделяющих поверхностей в пространстве неизоморфных моделей сигналов и оценок вероятности правильной классификации.

Предложена методика синтеза решающего правила при непараметрической априорной неопределенности относительно закона распределения классифицируемой выборки.

Если при решении задачи распознавания сигналов у исследователя имеется в наличии лишь достаточно протяжённые кластеризованные выборки, то при построении решающего правила необходимо использовать один из аппроксимационных подходов.

Если представить неизвестную функцию правдоподобия входных сигналов f^i , заданных на вероятностном пространстве и принадлежащих пространству сигналов F , $p^i(\bar{y}) = p(\bar{y}/f^i)$ разложением в ряд Фурье по ортонормированной системе $\{e_k(\bar{y})\}$, ограничившись частичной суммой

$$\hat{p}^i(\bar{y}) = \sum_{k=1}^Q \bar{d}_k^i \cdot e_k(\bar{y}), \quad (5)$$

где $e_k(\bar{y})$ – выбираются априори и считаются известными, а коэффициенты разложения \bar{d}_k^i определяются как

$$d_k^{i*} = \frac{1}{n_i} \cdot \sum_{r=1}^{n_i} e_k(\bar{y}_r), \quad k=1,2,3,\dots,Q. \quad (6)$$

В частном случае простой функции потерь, приводящей к требованию минимизации средней ошибки распознавания, решающее правило может быть записано в виде

$$P_1 \cdot \hat{p}(\bar{y}/f^1, \bar{d}^{1*}) \geq P_1 \cdot \hat{p}(\bar{y}/f^1, \bar{d}^{1*}). \quad (7)$$

В случае аппроксимации плотности распределения $p(y/f^i)$ ортонормированными полиномами Эрмита с весовой функцией

$$k(y/f^i) = (2 \cdot \pi)^{-\frac{1}{2}} \cdot \sigma_i^{-1} \cdot \exp\left(-\frac{1}{2} \cdot y^2 / \sigma_i^2\right), \quad (8)$$

ее приближенное выражение может быть записано в виде

$$p(y/f^i) \cong \frac{1}{(2 \cdot \pi)^{1/2} \sigma_i} \exp\left(-\frac{y^2}{2\sigma_i^2}\right) \cdot \left[1 + \frac{m_3}{3! \sigma_i^3} \left\{ \left(\frac{y}{\sigma_i}\right)^3 - \left(\frac{3}{2}\right) \left(\frac{y}{\sigma_i}\right) \right\} + \right.$$

$$+ \frac{1}{4!} \left(\frac{m_4}{\sigma_i^4} - 3 \right) \left\{ \left(\frac{y}{\sigma_i} \right)^4 - \left(\frac{4}{2} \right) \left(\frac{y}{\sigma_i} \right)^2 + 1 \cdot 3 \cdot \left(\frac{4}{4} \right) \right\}, \quad (9)$$

где m_i – i -й момент плотности вероятности $p(y/f^i)$. Оценки моментов m_i могут быть получены с использованием метода стохастического кодирования. Используя эти оценки при аппроксимации функции правдоподобия, можно построить решающее правило в соответствии с адаптивным байесовским подходом.

Также рассмотрены методы оптимизации параметров распознающих систем в случае параметрической априорной неопределенности, оптимизация временных характеристик системы распознавания и размерности признакового пространства.

В *третьей главе* выбран метод формирования классификационных признаков (метод стохастического кодирования сигналов), основанный на использовании функционала нелинейного преобразования первичных признаковых пространств, выбранного во втором разделе. Данный метод строится на принципах измерения корреляционных моментов с помощью функций знаковой корреляции.

Показано, что выбранное во второй главе нелинейное преобразование первичных признаков (исходных измерений) позволяет с одной стороны укрупнить описание классифицируемых сигналов, то есть отобразить исходное многомерное пространство признаков в одномерное пространство функционалов, с другой стороны – с применением в качестве функции преобразования функции распределения некоторого вспомогательного процесса – позволяет как бы «обобщить» или представить более компактно множество всех сигналов, принадлежащих одному классу. Предложен метод формирования классификационных признаков и построение на их основе решающих правил, основанный на использовании функционала нелинейного преобразования первичных признаковых пространств.

Суть метода заключается в следующем. Формируется два процесса

$$z_1(t) = \begin{cases} 1, & X(t) > U(t); \\ 0, & X(t) \leq U(t); \end{cases} \text{ и } z_2(t) = \begin{cases} 1, & X(t) > V(t); \\ 0, & X(t) \leq V(t), \end{cases} \quad (10)$$

где $U(t)$ и $V(t)$ – опорные случайные процессы некоррелированные со случайным процессом $X(t)$ и имеющие интервал распределения $[a, b]$, равный интервалу распределения $X(t)$.

Определяется выражение для подсчета второго смешанного момента

$$M[z_1 z_2] = \int_a^b \int_a^b F_U(x_t) F_V(x_{t+nT_0}) \times p_2(x_t, x_{t+nT_0}; \tau = nT_0) dx_t dx_{t+nT_0}, \quad (11)$$

где $p_2(x_t, x_{t+nT_0}; \tau = nT_0)$ – двумерный закон распределения анализируемого процесса $X(t)$.

В случае если процессы $U(t)$ и $V(t)$ будут распределены равномерно в интервале, не меньшем чем $[a, b]$, выражение (11) будет определять второй

смешанный момент процесса $X(t)$. Если опорные процессы $U(t)$ и $V(t)$ имеют распределения, отличающиеся от равномерных, то (11) будет определять функцию дискретного аргумента (nT_0), значения которой в точках $x = nT_0$ будут зависеть как от параметров формы распределения процесса $X(t)$, так и от его энергетических характеристик (корреляционной функции процесса $X(t)$). Последовательность этих значений и может быть использована в качестве эффективных признаков при распознавании. Выражение (10) можно приближенно определять достаточно простыми техническими средствами:

$$m^*[z_1 z_2] \approx \Theta(nT_0) = \frac{1}{N-n} \sum_{i=1}^{N-n} z_1(iT_0) z_2[(i+n)T_0], \quad (12)$$

где N – количество выборочных значений из реализации $z(t)$.

Установлено, что в случае распознавания случайных процессов с одинаковыми одномерными плотностями распределения вероятностей и различными корреляционными функциями, высокой эффективностью обладают признаки, сформированные на основе корреляционных моментов (12) знаковых функций, получаемых при сравнении входных процессов с опорными.

В соответствии с предложенным методом формирования признаков векторов, была предложена структура формирователя вектора признаков.

При использовании метода стохастического кодирования возрастает дисперсия оценок измеряемых моментов, однако при этом достигаются следующие положительные результаты: сокращается избыточность описания исходных процессов, подлежащих распознаванию; упрощается реализация алгоритма распознавания в микропроцессорных системах за счет применения одноразрядного квантования, дающего на выходе только знаки отсчетов.

В случае большого количества распознаваемых классов сигналов показана целесообразность, с точки зрения минимизации показателей сложности алгоритмов, использования в качестве разделяющих поверхностей огибающих элементарных фигур, охватывающих собственные области классов процессов. Выбран критерий оптимальности при построении решающего правила, минимизирующий собственные области классов при заданной вероятности распознавания

$$I = \frac{2\pi^{n/2}}{\Gamma\left(\frac{n}{2}\right)n} R^n + \lambda \left(\int_G p(\bar{L}) d\bar{L} - P_G \right), \quad (13)$$

где λ – множитель Лагранжа; G – собственная область класса.

Показано, что если в качестве критерия оптимальности выбран функционал, минимизирующий объем собственной области при фиксированной вероятности правильного распознавания, то решающее правило при классификации будет выглядеть

$$\begin{cases} \sum_{i=1}^n (\bar{L}_i^* - m_{ij}^*)^2 - (R_{j\min}^*)^2 \leq 0, & x(t) \in \omega_j; \\ \sum_{i=1}^n (\bar{L}_i^* - m_{ij}^*)^2 - (R_{j\min}^*)^2 > 0, & x(t) \notin \omega_j. \end{cases} \quad (14)$$

Разработан алгоритм непараметрической классификации случайных процессов по методу собственных областей класса (МСОК), использующий в качестве признаков корреляционные моменты знаковых последовательностей, сформированных на основе метода стохастического кодирования. В качестве опорных сигналов используются случайные процессы с некоррелированными отсчетами.

Методами цифрового моделирования найдены зависимости математических ожиданий и среднеквадратических отклонений признаков от вида и количества опорных распределений, от времени обучения и классификации.

Рассмотрены два типа моделей сигналов изображений: случайный процесс с экспоненциальной корреляционной функцией и различными интервалами корреляции; случайный процесс с экспоненциально-косинусной корреляционной функцией и различными интервалами корреляции. В качестве опорных процессов рассматривались случайные процессы с некоррелированными отсчетами с различными одномерными плотностями распределения вероятности, моды которых равномерно распределены в интервале $[a, b]$, равном интервалу распределения входных процессов.

На основе анализа зависимостей получены оценки достаточных объемов обучающих и контрольных выборок и видов опорных распределений для достижения заданных показателей качества алгоритмов классификации.

Разработана структурная схема предлагаемого непараметрического классификатора по МСОК, а также алгоритмы процедур обучения и классификации.

В *четвертой главе* рассмотрены вопросы моделирования алгоритма непараметрической классификации МСОК на ЭВМ. В результате моделирования работы классификатора МСОК при классификации случайных процессов с одинаковыми одномерными плотностями распределения вероятностей и различными корреляционными функциями, определены значения суммарных вероятностей ошибки классификации при различных объемах обучающих и контрольных выборок и различных размерах признакового пространства.

Установлено, что алгоритм классификации с формированием собственных областей распознаваемых классов эффективно работает при объемах обучающих наблюдений признаков, начиная от 10...20, при однократной процедуре предъявления контрольной выборки. Алгоритм целесообразно применять только при больших количествах распознаваемых классов, то есть в случае, когда построение разделяющих поверхностей на основе функций правдоподобия приводит к значительным вычислительным затратам.

Получена зависимость оценок суммарных вероятностей ошибки классификации от числа объектов обучения по классам.

Из приведенных зависимостей видно, что при критически низком количестве объектов обучения (менее 8-10) алгоритм по методу k ближайших соседей значительно проигрывает разработанному алгоритму в показателях вероятностей правильной классификации. Однако при увеличении количества объектов обучения (более 20-30) алгоритм по методу k ближайших соседей имеет преимущества, заключающиеся в более высоких вероятностях правильной классификации по сравнению с разработанным алгоритмом по МСОК.

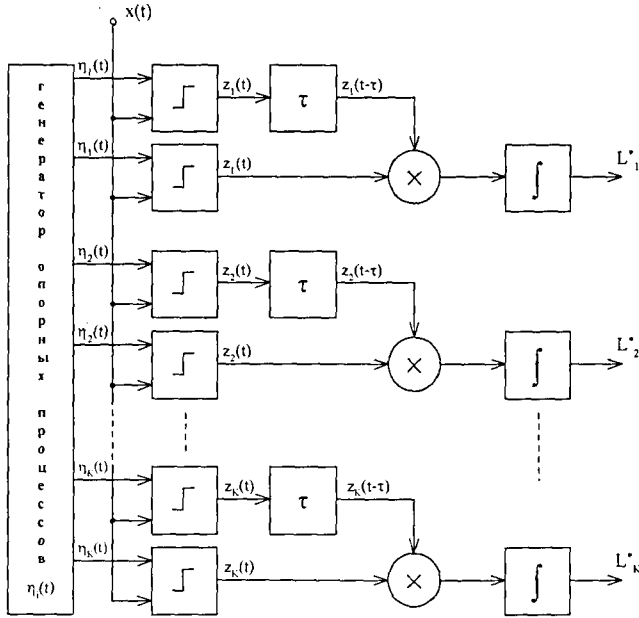


Рисунок 1 – Структурная схема формирователя вектора признаков

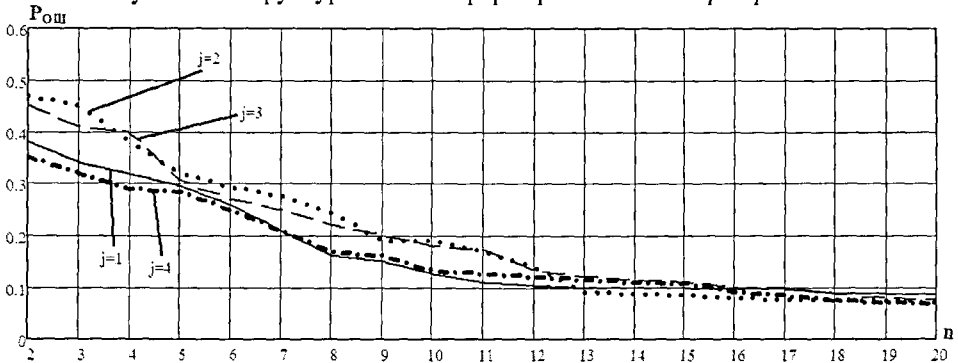


Рисунок 2 – Зависимость оценок суммарных вероятностей ошибки классификации от числа объектов обучения по классам предложенного МСОК

Определены также вероятности ошибки при классификации фрагментов на полутоновых изображениях принадлежащих четырем различным объектам. Получены матрицы перепутывания.

Результаты численных экспериментов на ЭВМ позволяют говорить о том, что разработанные алгоритмы могут иметь область применения, выходящую за рамки исследования сигналов полутоновых изображений. Они также могут быть использованы в различных диагностических системах, объектом исследований которых являются шумоподобные сигналы.

Разработаны комплексы программ осуществляющих классификацию реальных изображений, а также случайных процессов, которые внедрены в учебный процесс. Для проведения эксперимента была разработана эксперименталь-

ная установка, включающая в себя цифровую ПЗС камеру и персональную ЭВМ.

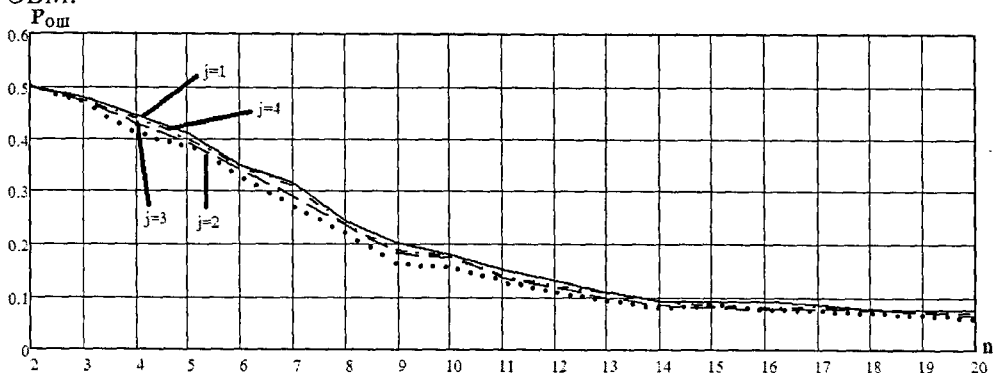


Рисунок 3 – Зависимость оценок суммарных вероятностей ошибки классификации от числа объектов обучения по классам по методу k -ближайших соседей

В *заключении* сформулированы основные научные и практические результаты работы.

Приложения к диссертации содержат листинги программ расчета характеристик и алгоритмов работы устройств непараметрической обработки случайных процессов, а также результаты экспериментального определения характеристик работы непараметрических классификаторов при обработке изображений. Программы представляют собой рабочие документы пакета для математического моделирования Matlab. Данные программы могут быть использованы, например в учебно-методических целях. В приложении также содержатся копии актов внедрения результатов диссертации на ряде предприятий и использования результатов исследований в учебном процессе кафедры РПрУиТВ ТТИ ЮФУ.

Основные результаты диссертационной работы. Основные научные результаты и положения, полученные в диссертационной работе, состоят в следующем:

1. Разработан алгоритм преобразования оцифрованных сигналов изображений объекта в одномерные реализации случайных процессов, позволяющая перейти от двумерного представления сигналов изображений к одномерному.

2. На основе анализа существующих методов формирования признаков пространств при классификации сигналов моделей изображений реализовано улучшение качества работы автоматизированных распознающих систем за счет нелинейного преобразования исходного пространства сигналов, состоящем в сокращении избыточности описания исходных сигналов и сокращении временных и аппаратных затрат при решении задач классификации изображений.

3. Разработан алгоритм непараметрической классификации сигналов изображений на основе формирования признаков пространств по методу стохастического кодирования. Определены показатели качества и сложности разработанного алгоритма МСОК при их реализации на микропроцессорных системах для решения задачи классификации сигналов изображений.

4. Получены зависимости основных показателей качества разработанного алгоритма по МСОК от времени обучения и распознавания, и размерности признакового пространства, позволяющие оптимизировать временные параметры аппаратуры классификации.

5. Проведен численный эксперимент на ЭВМ с целью исследования качественных показателей разработанного алгоритма МСОК. Использование разработанного метода для классификации изображений позволило достаточной степенью достоверности соотносить исследуемые реализации наблюдаемых протяженных объектов с соответствующими классами, которым они принадлежат.

6. Научные и практические результаты, полученные в диссертации, внедрены на ряде предприятий при создании устройств сопровождения и наблюдения за объектами при решении задачи классификации изображений.

Основные результаты, полученные в диссертации, изложены в следующих публикациях:

Публикации в изданиях, рекомендованных ВАК РФ:

1. Галустов Г.Г., Краснобаев Д.А., **Поцыкайло А.А.** Синтез решающего правила классификатора сигналов при непараметрической априорной неопределённости // Материалы 56-й научно-технической конференции профессорско-преподавательского состава. Журнал «Известия ЮФУ. Технические науки», №1(114) – Таганрог: Изд-во ТТИ ЮФУ, 2011 – стр. 78-84.

2. **Поцыкайло А.А.** Использование метода k-ближайших соседей при распознавании полутоновых изображений. // Материалы Всероссийской научно-технической конференции с международным участием: «Компьютерные и информационные технологии в науке, инженерии и управлении» («КомТех-2011»). Журнал «Известия ЮФУ. Технические науки», №5(118) – Таганрог: Изд-во ТТИ ЮФУ, 2011 – стр. 258-260.

Публикации в других изданиях:

3. **Поцыкайло А.А.** Детерминистский и статистический подход в итеративных алгоритмах с использованием решающих функций // Материалы Международной научной конференции «Методы и алгоритмы принятия эффективных решений» (МАПР-2009), часть 2 – математические методы принятия решений и оптимизации – Таганрог: Изд-во ТТИ ЮФУ, 2009 – стр. 63-69.

4. Галустов Г.Г., Краснобаев Д.А., **Поцыкайло А.А.** Оценка погрешности при стохастическом кодировании сигналов // Материалы Всероссийской научной конференции «Современные исследовательские и образовательные технологии (СИОТ-2010)», часть 2 – Таганрог: Изд-во ТТИ ЮФУ, 2010 – стр. 13-17.

5. Галустов Г.Г., Краснобаев Д.А., **Поцыкайло А.А.** О построении статистических систем распознавания по кластеризованным выборкам // Материалы Всероссийской научной конференции «Современные исследовательские и образовательные технологии (СИОТ-2010)», часть 2 – Таганрог: Изд-во ТТИ ЮФУ, 2010 – стр. 17-21.

6. **Поцыкайло А.А.** Задача распознавания фрагментов на изображении // Сборник материалов X Всероссийской научной конференции студентов и ас-

пирантов «Техническая кибернетика, радиоэлектроника и системы управления-2010 (КРЭС-2010)», секция радиотехники, подсекция моделирование и цифровая обработка сигналов. Т1 – Таганрог: Изд-во ТТИ ЮФУ, 2010 – стр. 31-32.

7. **Поцыкайло А.А.** Методика выбора критерия эффективности системы признаков при решении задачи классификации // Материалы Международной научной конференции «Информационное общество: идеи, технологии, системы-2010 (ИНФО-2010)», часть 3 – Таганрог: Изд-во ТТИ ЮФУ, 2010 – стр. 53-56.

8. **Поцыкайло А.А.** Формирование признаков по изображению при классификации // Сборник материалов докладов 8-й Всероссийской научно-практической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых «Молодежь XXI века – будущее российской науки». В двух томах. Т1 – Ростов-на-Дону: Изд-во ТТИ ЮФУ – 2010 – стр. 143-144.

9. **Поцыкайло А.А.** Формирование системы признаков при классификации случайных процессов с использованием стохастического кодирования // Материалы 13-й международной конференции «Цифровая Обработка Сигналов и её Применение» (DSPA-2011). Секция №1 «Теория сигналов и систем». Вып. 13. Т1 – Москва, 2011 – стр. 67-69.

Личный вклад диссертанта в работах, выполненных в соавторстве, заключается в следующем:

В [1] осуществлена программная реализация по разработанной Краснобаевым Д.А. структурной схеме.

В [4] выполнено моделирование метода стохастического кодирования для классификации сложных сигналов с непараметрической априорной неопределённостью.

В [5] проведён обзор методов распознавания сигналов и образов с учётом их практической реализации.