

УТВЕРЖДАЮ

Проректор по науке и инновациям
ФГБОУ ВО «Воронежский государственный
технический университет»,
доктор технических наук



А.В. Башкиров

«09» апреля 2025 г.

ОТЗЫВ ВЕДУЩЕЙ ОРГАНИЗАЦИИ

на диссертационную работу Калинина Максима Юрьевича
«Марковские модели и алгоритмы классификации информационных
сигналов с многомерными вероятностными свойствами», представленную
на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности
2.3.1 – Системный анализ, управление и обработка информации, статистика

Актуальность темы исследования

Информационные сигналы возникают в различных областях человеческой деятельности, например, при обмене сообщениями, контроле и диагностике состояния технических объектов и окружающей среды, в медицинских исследованиях. Одной из актуальных задач является выявление и идентификация информационных сигналов с целью последующей классификации состояний рассматриваемых объектов, (устройств, технических систем, сердечно-сосудистой системы человека и т.д.).

Необходимость классификации сигналов возникает в различных областях науки, техники и медицины. Работа авиационного двигателя или турбины электростанции порождает вибрации, которые с помощью датчиков преобразуются в электрические сигналы, по которым можно принимать решения о состоянии контролируемого устройства (например, нормальное, предаварийное и авария). Изучение кардиографических сигналов (кардиограмм) дает возможность выявлять состояние сердечно-сосудистой системы человека (норма, патология). В радиотехнической разведке по принимаемым сигналам можно определять их свойства (например, вид модуляции).

В математике и технической кибернетике аналогичные общие задачи решаются в теории распознавания образов, в том числе на основе обучаемых нейронных сетей. Случайные сигналы изучаются в теории вероятностей и теории случайных процессов. Процедуры обучения и самообучения технических систем изучаются, например, в системах искусственного интеллекта. Подобные задачи классификации рассматриваются в теории многомерной статистической классификации, кластерного и факторного анализа.

Марковские одномерные и двухсвязные модели случайных процессов обладают широкой универсальностью, гибкостью и удобны для использования в задаче классификации.

Одной из проблем в исследовании сигналов и методов их обработки является моделирование и имитация случайных сигналов с заданными вероятностными свойствами. Алгоритмы имитации случайных сигналов на основе их марковских моделей позволяют с высокой скоростью и точностью формировать потоки случайных чисел с произвольной заданной двумерной или трехмерной плотностью вероятностей, которые целесообразно использовать для исследования и отладки алгоритмов классификации случайных процессов.

Известные подходы к задаче классификации случайных процессов на основе простых (например, гауссовских) или специализированных (Релея, Накагами и др.) математических моделей не позволяют обеспечить достоверное различение классов, особенно в условиях априорной неопределенности в статистических свойствах сигналов. Марковские модели лишены указанных недостатков, они имеют большое число независимых параметров (элементов матрицы переходных вероятностей) и моделируют случайные процессы с произвольными двумерными и трехмерными плотностями вероятностей.

Актуальность исследования обосновывается необходимостью разработки и исследования новых эффективных (оптимальных по критерию максимальной апостериорной вероятности) алгоритмов классификации случайных процессов на основе их марковских моделей.

Диссертационная работа Калинина М.Ю. посвящена разработке Марковских моделей и алгоритмов классификации информационных сигналов с многомерными вероятностными свойствами. Предложенные модели и инструменты могут применяться в реальных условиях. Руководствуясь вышесказанным, можно утверждать, что тема диссертационного исследования перспективна и актуальна.

Научная новизна основных результатов и выводов

Полученные автором результаты обладают научной новизной, из них наиболее важны следующие:

1. двумерные и трехмерные марковские модели потоков данных, отличающиеся максимизацией апостериорных вероятностей принимаемых решений и обеспечивающие динамическую идентификацию потоков данных;

2. алгоритм формирования эталонных потоков данных с заданными вероятностными свойствами, отличающийся возможностью получения потока данных с произвольным двумерным распределением вероятностей, определяемым соответствующей марковской моделью, и позволяющий формировать обучающие выборки для систем машинного обучения;

3. алгоритм классификации потоков данных для системы машинного обучения, основанный на формировании решающих статистик, получаемых

с помощью марковских моделей потоков данных, обеспечивающий максимум отношения правдоподобия;

4. архитектура системы классификации потоков данных, отличающаяся интеграцией модуля генерации потоков данных с заданными вероятностными свойствами в подсистему обработки потоков данных и обеспечивающая классификацию сигналов по поступающей выборке отсчетов с заданной достоверностью.

Степень обоснованности и достоверность основных научных результатов

Достоверность полученных автором результатов и выводов подтверждается правильным выбором и корректным применением известных методов исследования, строгим математическим обоснованием выдвигаемых утверждений и предположений, соответствием теоретических значений полученным экспериментальным данным. Основные результаты работы опубликованы в рецензируемых научных изданиях, рекомендованных ВАК РФ, и в международных изданиях, индексируемых в наукометрических базах Scopus. Работа прошла достаточную апробацию на различных научно-технических и отраслевых конференциях.

По материалам диссертации опубликовано 20 печатных работ, в том числе 7 статей опубликовано в изданиях, рекомендованных ВАК при Минобрнауки России, 4 статьи в изданиях, индексируемых в Scopus, разработаны 2 программы для ЭВМ, зарегистрированные в Федеральной службе по интеллектуальной собственности, получен 1 патент на изобретение РФ.

Соответствие паспорту специальности

Содержание диссертации соответствует п. 3 «Разработка критериев и моделей описания и оценки эффективности решения задач системного анализа, оптимизации, управления, принятия решений, обработки информации и искусственного интеллекта», п. 4 «Разработка методов и алгоритмов решения задач системного анализа, оптимизации, управления, принятия решений, обработки информации и искусственного интеллекта», п. 5 «Разработка специального математического и алгоритмического обеспечения систем анализа, оптимизации, управления, принятия решений, обработки информации и искусственного интеллекта» паспорта специальности 2.3.1. Системный анализ, управление и обработка информации, статистика.

Значимость для науки и практики

Диссертационная работа представляет собой значимый вклад в развитие методов исследования двумерных и трехмерных марковских моделей потоков данных. Она расширяет область применения методов обработки информации в нестационарных системах, углубляя понимание проблем и методов управления динамическими гетерогенными системами обработки информации.

Практическая значимость работы заключается в повышении достоверности принимаемых решений по выявлению, идентификация и классификации информационных сигналов, возникающих в различных областях человеческой деятельности. Разработан комплекс программ, позволяющий осуществлять классификацию информационных сигналов (на примере радиосигналов). Предложены рекомендации по исследованию ритмограмм для решения задачи классификации состояний сердечно-сосудистой системы пациента..

Общий обзор диссертационной работы

Диссертация изложена на 160 страницах, содержит введение, четыре главы, заключение, список использованных источников и приложения.

Во введении дана общая характеристика работы, обозначена цель и перечислены задачи исследования.

В первой главе проведен анализ информационных сигналов, рассмотрены их свойства и задачи классификации. Рассмотрены существующие математические модели радиосигналов и ритмограмм. Показано, что марковские модели случайных процессов с дискретным множеством состояний являются достаточно универсальным математическим аппаратом вероятностного моделирования. Применительно к квантованным по времени и уровню сигналам простейшая марковская модель представляет собой дискретную цепь Маркова.

Во второй главе предложены одно и двухсвязная модели Маркова по заданным плотностям вероятностей и по наблюдаемым экспериментально временным реализациям отсчетов случайного процесса. В главе приводятся результаты статистического имитационного моделирования алгоритмов имитации случайных сигналов по их марковским моделям. Приведены примеры формирования марковских моделей радиосигналов и ритмограмм. Разработана методика формирования моделей классов для простой и двухсвязной цепи Маркова.

Третья глава посвящена разработке алгоритмов классификации сигналов на основе их марковских моделей. Рассмотрены апостериорные вероятности принадлежности полученной выборки отсчетов сигнала соответствующему классу. Оптимальный алгоритм классификации случайного сигнала строится по критерию максимальной апостериорной вероятности. В главе также рассмотрены свойства решающих статистик простой марковской модели, разработана метрика классов, получены их статистические характеристики. Показано, что решающие статистики имеют нормальное распределение вероятностей. Получены оценки их среднего значения и дисперсии. Проведен анализ статистических характеристик решающих статистик двухсвязной марковской модели, получены оценки их среднего значения и дисперсии.

В четвертой главе предложена и реализована в виде комплекса программ архитектура системы классификации потоков данных. Информационные сигналы поступают от исследуемого объекта, формируются и анализи-

руются их марковские модели. Модели классов формируются в процессе машинного обучения алгоритма классификации за счёт интеграции модуля генерации потоков данных с заданными вероятностными свойствами в подсистему обработки потоков данных. Для этого используются либо теоретические сведения о многомерных плотностях вероятностей анализируемых случайных процессов, либо экспериментальные реализации (выборки) отсчетов анализируемых процессов с известной принадлежностью выбранному классу (обучение с учителем).

В заключении перечислены полученные результаты диссертационного исследования, делается вывод о достижении его цели.

Замечания по работе

1. Не рассмотрены ограничения применения Марковских моделей для нестационарных процессов, особенно для случаев, когда изменения параметров случайного процесса во времени носят медленно меняющийся характер.

2. Неясно, какой объем данных необходим для задания параметров генератора эталонного потока данных с заданными вероятностными характеристиками. Также неочевидны практические задачи применения генератора эталонного потока данных с заданными вероятностными характеристиками

3. Не показано сравнение эффективности предложенного подхода с известными методами, в том числе основанными на применении свёрточных сетей, по соотношению – объем обучающей выборки/точность распознавания.

4. В работе не рассмотрено применение в качестве альтернативы для анализа сигналов методов кратковременного Фурье анализа, позволяющего построить графики типа «спектрограмма» или «водопада», которые показывают динамику изменения спектра сигнала во времени и позволяют анализировать тонкую структуру сигнала методами анализа и обработки изображений

5. Выражение двумерной плотности вероятностей соседних значений случайного процесса x и y , формула (2.31) в работе, детально рассмотрено с точки зрения влияния параметров a , b , d , на форму поверхности двумерной функции плотности вероятностей, однако в работе не проведена методика вычисления этих параметров для реальных сигналов, а также не исследовано влияние ошибок определения параметров модели на точность классификации сигналов.

6. Текст диссертации и автореферата содержат небольшое количество грамматических ошибок и опечаток и незначительные технические ошибки в нумерации списков в диссертации и рисунков в автореферате, которые затрудняют чтение, но не влияют на содержание работы.

В целом, представленные выше замечания не являются существен-

ными и не снижают практической и научной значимости диссертационной работы, которая выполнена на высоком научном уровне и содержит новые результаты, полученные лично автором.

Заключение

Диссертационная работа Калинина Максима Юрьевича «Марковские модели и алгоритмы классификации информационных сигналов с многомерными вероятностными свойствами» является завершенной научно-квалификационной работой, в которой содержится решение актуальных научных задач в области классификации информационных сигналов. Работа изложена последовательно и структурированно, полученные результаты соответствуют поставленной цели и задачам. Автореферат корректно отражает содержание диссертации, автореферат и диссертация оформлены в соответствии с требованиями ВАК РФ.

Работа отвечает требованиям п. 9 «Положения о присуждении ученых степеней» ВАК Министерства образования и науки РФ, утвержденного постановлением Правительства Российской Федерации от 24 сентября 2013 г. № 842, предъявляемых к кандидатским диссертациям.

Автор диссертационной работы Калинин Максим Юрьевич заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.3.1 – Системный анализ, управление и обработка информации, статистика.

Диссертация, автореферат и отзыв на диссертацию обсуждены и одобрены на заседании кафедры автоматизированных и вычислительных систем 25.03.2024, протокол № 11.

И.о. заведующего кафедрой автоматизированных
и вычислительных систем ФГБОУ ВО «Воронежский
государственный технический университет»,
доктор технических наук, профессор



В.Ф. Барабанов

ФГБОУ ВО «Воронежский государственный технический университет»
394006, Воронежская область, г. Воронеж, ул. 20-летия Октября, д.84
телефон +7(473)221-09-19, веб-сайт <https://cchgeu.ru>
адрес электронной почты rector@cchgeu.ru

