

## О Т З Ы В

официального оппонента на диссертацию и автореферат 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**

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.

Актуальность исследования обосновывается необходимостью разработки и исследования новых эффективных (оптимальных по критерию

максимальной апостериорной вероятности) алгоритмов классификации случайных процессов на основе их марковских моделей.

### **Обоснованность научных положений и достоверность полученных результатов, выводов и рекомендаций**

Степень обоснованности научных положений, выводов и рекомендаций, представленных автором в диссертационной работе, определяется корректным использованием известных научных методов, проанализированных теоретических подходов, а также частными результатами, полученными отечественными и зарубежными специалистами.

При этом автор эффективно использовал, применительно к решаемой задаче, методы моделирования, математического программирования, теории принятия решений, а также методы объектно-ориентированного программирования.

Научные положения и выводы, сформулированные в диссертационной работе, базируются на значительном экспериментальном материале. Для подтверждения теоретических положений автором корректно проведены исследования полученных результатов.

Таким образом, приведенные обоснования в совокупности позволяют сделать вывод, что теоретические исследования, проведенные в ходе написания диссертации, а также выводы и рекомендации являются обоснованными.

### **Научная новизна**

Диссертационная работа содержит следующие результаты, характеризующиеся научной новизной:

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

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

алгоритм классификации потоков данных для системы машинного обучения, основанный на формировании решающих статистик, получаемых с помощью марковских моделей потоков данных, обеспечивающий максимум отношения правдоподобия;

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.

Все результаты, полученные в диссертационном исследовании, являются новыми, достоверными и соответствуют требованиям Положения ВАК России. Содержание диссертации соответствует п. 3, 4, 5 паспорта специальности 2.3.1. Системный анализ, управление и обработка информации, статистика.

Основные результаты диссертации опубликованы в 20 печатных работах, 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.

Публикации полно отражают содержание диссертации.

Автореферат полностью отражает основное содержание диссертации. Результаты диссертационного исследования прошли апробацию на Международных и других тематических конференциях и семинарах.

Учитывая значимость для практики, основные результаты исследований внедрены в РУНЦ «Безопасность» Московского государственного технического университета им Н.Э. Баумана, ООО «КАСКАД» (г. Москва), а также в учебный процесс Воронежского института высоких технологий.

Результаты проведенных исследований позволяют более эффективно осуществлять управление потоками данных, отличающееся максимизацией апостериорных вероятностей принимаемых решений и обеспечивающее динамическую идентификацию потоков данных.

**Практическая значимость** заключается в разработке марковских моделей и алгоритмов классификации информационных сигналов с многомерными вероятностными свойствами, а также информационного и программного обеспечения для экспериментальной оценки качества разработанных методов и алгоритмов. На элементы программных средств получены патент и свидетельства о государственной регистрации.

### **Структура диссертации**

Результаты исследований в работе изложены в логической последовательности, отличаются целостностью и законченностью. Диссертация состоит из введения, четырех глав и заключения. Ее основное содержание изложено на 160 страницах основного текста. Библиографический список содержит 113 наименований. Содержание автореферата достаточно полно отражает основные результаты и выводы диссертационной работы.

### **Замечания по диссертационной работе:**

1. В работе отсутствуют признанные показатели качества решения задач классификации сигналов, такие как мера F1, accuracy, precision и recall, что не позволяет в полной мере сравнить полученные результаты с известными аналогами

2. В работе не рассмотрено, обеспечивается ли различие модификаций модуляции GMSK, в частности N-GMSK, при различных значениях N (суперпозиции N сигналов с различными амплитудами)

3. Из работы не ясно преимущество предлагаемого алгоритма генерации псевдослучайных чисел по сравнению с известными алгоритмами, например на основе метода инверсии равномерного распределения.

4. В работе при классификации сигналов автор привязывает принятие решения к имеющемуся объему выборки N. При этом процесс должен происходить итерационно для достижения необходимого объема. Целесообразно было бы предусмотреть первоначальный расчет требуемый объем выборки, что позволило бы уйти от необходимости проведения множества итераций.

5. Приведенные в 4 главе (параграф 4.5) результаты анализа ритмограмм являются не информативными, так как данные получены со слишком низкой частотой дискретизации (1 отсчет в секунду). Не рассмотрена возможность применения разработанных алгоритмов и программ для анализа данных ЭКГ мониторинга или электроэнцефалографии (ЭЭГ) мозга. Кроме того, в работе не раскрыты вопросы создания моделей для множества сигналов, например сигналов от нескольких одновременно работающих датчиков.

6. В диссертации и автореферате имеются отдельные стилистические погрешности.

Отмеченные недостатки и замечания в целом не ставят под сомнение научную новизну, теоретическую и практическую значимость, а также достоверность научных результатов.

### **Заключение**

Диссертация Калинина Максима Юрьевича является завершенной научно-квалификационной работой, выполненной лично автором. В ней изложены научно обоснованные технические решения, заключающиеся в управлении процессами анализа потоков данных.

По актуальности избранной темы, глубине проработки всего комплекса частных задач, научной и практической значимости полученных результатов, обоснованности выводов, можно заключить, что диссертационная работа соответствует требованиям ВАК России, предъявляе-



мым к кандидатским диссертациям по специальности 2.3.1, а ее автор, Калинин Максим Юрьевич, заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук.

### Официальный оппонент

Доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой высшей математики Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Липецкий государственный технический университет», г. Липецк




Шмырин Анатолий Михайлович

07 апреля 2025 г.

398055, Россия, г. Липецк, ул. Московская, д.30, ФГБОУ ВО «Липецкий государственный технический университет»  
+7 (920) 518-84-50  
Email: amsh46@mail.ru



Подпись удостоверена  
Специалист ОК ЛГТУ   
Ю.В. Меркулова  
07.04.2025