Отзыв официального оппонента

доктора технических наук, профессора, Иванова Александра Ивановича, научного консультанта АО «Пензенский научно-исследовательский электротехнический институт» на диссертационную работу Танцерова Александра Хабибуллоевича «Методы интеллектуального анализа динамических параметров подписи на основе искусственных нейронных сетей», представленную на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.3.8. – «Информатика и информационные процессы» (отрасль науки – технические) в объединенный диссертационный совет 99.2.113.02 при ФГБОУ ВО «Рязанский государственный радиотехнический университет имени В.Ф. Уткина», ФГБОУ ВО «Пензенский государственный технологический университет».

1. Актуальность исследования

В условиях расширения электронного документооборота, дистанционного обслуживания, цифровых сервисов идентификации и защищенного доступа к информационным ресурсам возрастает потребность в надежных, воспроизводимых и технологически доступных способах биометрической аутентификации пользователей. Наряду с физиологическими биометрическими признаками важное место занимают поведенческие признаки, к которым относится динамическая подпись, отражающая не только итоговое изображение рукописного автографа, но и процесс его формирования во времени. При дистанционном управлении интернет-вещами, формировании смарт-контрактов, дистанционном голосовании, динамика рукописных парольных фраз, контролируемая в доверенной вычислительной среде, должна занять значимое место.

Динамические параметры подписи представляют собой многомерные временные ряды, включающие координаты траектории, давление пера, скоростные и ускоренные характеристики и другие производные признаки. Такой тип данных является информативным, однако характеризуется

высокой внутриклассовой вариативностью, зависимостью от состояния пользователя, условий регистрации и параметров сенсорного устройства. Это затрудняет построение устойчивых алгоритмов сопоставления, классификации и отождествления реализаций подписи (рукописного пароля), особенно при ограниченном числе обучающих примеров и наличии квалифицированных подделок. Положение осложняется тем, что обычно люди имеют не один, а два-три устойчивых варианта рукописной подписи (рукописной парольной фразы).

В этой связи разработка методов расширения признакового описания, эталонирования и нейросетевой классификации динамической подписи является актуальной научно-технической задачей. Работа Танцерова А.Х. направлена на повышение качества сопоставления и классификации реализаций динамической подписи за счет использования искусственных нейронных сетей, функционально связанных многомерных кривых, самоорганизующихся карт Кохонена и специализированных процедур отождествления с вариантами эталонов. Выбранное направление соответствует современным тенденциям развития интеллектуального анализа данных, поведенческой биометрии и технологий персонализации доступа к информационным системам.

2. Соответствие диссертации и автореферата паспорту научной специальности

Содержание исследования связано с разработкой компьютерных методов и моделей описания, оценки и оптимизации информационных процессов и ресурсов, а также средств анализа и выявления закономерностей, на основе используемого программно-аппаратного обеспечения.

Результаты диссертации также соответствуют направлению, связанному с разработкой методов и алгоритмов кодирования, размещения и повышения надежности хранения и передачи информации, поскольку в работе рассматриваются вопросы представления, хранения и сопоставления

эталонных биометрических данных. Кроме того, диссертация непосредственно относится к направлению применения методов распознавания образов, кластерного анализа, нейросетевых технологий и решающих правил при анализе разнородной информации в базах данных.

Таким образом, объект, предмет, цель, задачи, научная новизна и практические результаты диссертационного исследования соответствуют специальности 2.3.8.– «Информатика и информационные процессы» по следующим пунктам: 1, 2, 4, 12, 13, 15.

3. Структура и содержание диссертации

Во введении обоснована актуальность исследования, сформулированы объект и предмет исследования, цель и задачи работы, раскрыты научная новизна, теоретическая и практическая значимость, положения, выносимые на защиту, сведения об апробации, публикациях и внедрении результатов.

В первой главе выполнен сравнительный анализ методологий и алгоритмических подходов к сопоставлению и классификации реализаций динамической подписи. Рассмотрены методы регистрации, предобработки, выделения признаков и сопоставления динамической подписи, приведены сведения о биометрических системах, нормативном контексте, существующих программных платформах и математических методах классификации многомерных временных рядов. Обоснована целесообразность применения нейросетевых алгоритмов для анализа многомерных сигнатур динамической подписи.

Во второй главе разработаны методы представления биометрических данных в нейросетевом вычислительном базисе. Рассмотрен метод обработки и расширения признакового описания динамических параметров подписи на множестве функционально связанных многомерных кривых, предложен метод эталонирования реализаций динамической подписи на основе самоорганизующихся карт Кохонена. Также рассмотрены современные архитектуры нейронных сетей и предложена методика

нейросетевого отождествления образца динамической сигнатуры с эталонами по кортежу уникальных матриц синаптических коэффициентов межнейронных связей. Фактически предложена процедура автоматического учета нескольких устойчивых вариантов рукописной подписи (рукописного пароля) у одного пользователя.

Важным аспектом работы является то, по сравнению уже имеющимися программными приложениями («БиоНейроАвтограф» 2012 года с однослойной сетью из 256 персептронов преобразователя биометрия –код, обученного по ГОСТ Р 52633.5-2011) появилась новая техническая возможность дополнительного учета четырех динамических параметров: скорость пера по оси –*x*, скорость пера по оси –*y*, ускорение пера по оси –*x*; ускорение пера по оси –*y*. Последнее потенциально может привести к трехкратному росту числа анализируемых биометрических параметров. Учитывая наличие двухменого преобразования Фурье в среде моделирования «БиоНейроАвтограф» предложенный соискателем подход может увеличить число анализируемых биопарметров в 3^2=9 раз с 416 биометрических параметров до 3744 параметров.

Важным техническим моментом диссертационной работы является то, что, вместо обычных неустойчивых процедур дифференцирования входных данных, соискатель пользуется более устойчивой нейросетевой экстраполяцией значений первой и второй производной движения пера.

В третьей главе представлены методики и алгоритмы анализа, сопоставления и классификации реализаций динамической подписи на основе нейросетевого вычислительного базиса. В главе сформулированы постановки задач анализа и классификации динамической сигнатуры подписи, рассмотрен структурный синтез нейросетевых архитектур в пространстве отсчетов многомерных кривых и в пространстве вторичных признаков, предложена методика классификации в пространстве многоточечного представления инвариантов и алгоритм комплексного анализа динамической сигнатуры.

В четвертой главе приведены результаты экспериментальных исследований и предложения по практической реализации разработанных методов. Описаны программные реализации макета программного комплекса моделирования, эталонирования, сопоставления и классификации динамической сигнатуры подписи. Для реализации использовались MATLAB и C++, доказательная база исследований строилась на датасете MOBISIG, включающем динамические подписи 83 пользователей. В главе также приведены предложения по хранению эталонных представлений динамической подписи с использованием специализированных баз данных временных рядов и матриц синаптических коэффициентов.

4. Научная новизна исследования и полученных результатов

К основным результатам диссертационной работы, обладающим научной новизной, следует отнести следующие положения.

1. Разработан метод обработки и расширения признакового описания динамической подписи на множестве функционально связанных многомерных кривых. Метод основан на экстраполяции дополнительных динамических параметров из стандартного кортежа сенсорных измерений и формировании расширенного признакового пространства *в 9 раз*, что повышает информативность исходных данных для задач сопоставления и классификации.

2. Разработан метод *расширения числа эталонов* биометрических реализаций подписи на основе самоорганизующихся карт Кохонена, отличающийся использованием взвешивания признаков с учетом их информативности и адаптивной процедурой выбора числа эталонов. Это позволяет учитывать внутриклассовую вариативность подписи пользователя.

3. Разработана методика отождествления образца динамической подписи с эталонами, основанная на декомпозиции вычислительной процедуры по кортежу уникальных послойных матриц синаптических коэффициентов межнейронных связей, *что обеспечивает повышение*

доступности положительной аутентификации образов «Свой» до уровня 0.95 на биометрических образах имеющих дополнительные устойчивые эталоны, возникающие с вероятностью от 0.25 до 0.35.

4. Усовершенствована методика нейросетевого анализа и классификации динамической сигнатуры за счет представления каждой реализации в виде многоточечного набора статистических характеристик семейства кривых, что обеспечивает возможность настройки компромисса между ошибками первого и второго рода.

Перечисленные результаты развивают научно-методический аппарат интеллектуального анализа многомерных временных рядов биометрической природы и представляют интерес для дальнейшего развития систем поведенческой биометрии.

5. Теоретическая и практическая значимость результатов

Теоретическая значимость диссертационной работы состоит в развитии методов нейросетевого анализа и классификации многомерных динамических сигнатур подписи в условиях внутриклассовой вариативности, ограниченности обучающих выборок и априорной неопределенности относительно информативности отдельных признаков. Предложенные методы расширения признакового пространства и эталонирования позволяют формализовать обработку динамической подписи как совокупности функционально связанных многомерных кривых.

Практическая значимость результатов заключается в создании макета программного комплекса моделирования, эталонирования, сопоставления и классификации динамической сигнатуры подписи, а также в возможности применения разработанных методов для повышения достоверности и устойчивости биометрического сопоставления. Полученные результаты могут быть использованы при разработке систем биометрической аутентификации, электронного документооборота, защищенного доступа к информационным ресурсам и исследовательских программных средств для анализа рукописных динамических данных.

Разработанные методы и алгоритмы внедрены в учебный процесс кафедры «Программирование» ФГБОУ ВО «Пензенский государственный технологический университет» при подготовке магистров по направлению 09.04.04 «Программная инженерия». Отдельные программно-технические решения использованы в ООО НТП «Криптософт» (г. Пенза) при работе с проектом «QP-МДЗ» на этапах разработки опытного образца.

6. Обоснованность и достоверность научных положений

Обоснованность научных положений, выводов и рекомендаций, сформулированных в диссертационной работе, обеспечивается применением методов системотехники, теории вероятностей и математической статистики, теории случайных процессов, статистической теории принятия решений, методов нейроинформатики и математического моделирования.

Достоверность результатов подтверждается экспериментальными исследованиями на базе динамических подписей MOBISIG, сравнением нейросетевых алгоритмов с базовыми алгоритмами сопоставления многомерных сигналов, а также практической реализацией макета программного комплекса. Результаты работы согласуются с современными исследованиями в области анализа динамической подписи, машинного обучения и поведенческой биометрии.

Основные результаты диссертационного исследования опубликованы в 15 научных работах, включая 4 статьи в журналах, рекомендованных ВАК Минобрнауки России, и 1 статью, индексируемую в международной базе данных Scopus. Результаты исследования апробированы на международных и всероссийских научно-практических конференциях.

7. Замечания по диссертационной работе:

Положительно оценивая диссертационную работу Танцерова А.Х., следует отметить ряд замечаний и вопросов, требующих пояснения.

1. Экспериментальная часть работы была бы более убедительной при проверке разработанных методов не только на базе MOBISIG, но и на нескольких независимых наборах данных, включая данные, полученные с

использованием различных сенсорных устройств, отличающихся частотой дискретизации, точностью регистрации координат, давления и иных динамических параметров.

2. Требует дополнительного пояснения процедура контроля переобучения нейросетевых моделей. В работе представлены результаты классификации и сопоставления, однако было бы полезно более явно описать схему разделения данных на обучающую и тестовую выборки, процедуру повторения экспериментов при различных инициализациях и способы исключения попадания зависимых реализаций подписи одного пользователя одновременно в обучение и контроль.

3. В диссертации и автореферате нет четких разграничений защищаемых положений по специальности 2.3.8.– «Информатика и информационные процессы» по следующим пунктам: 1, 2, 4, 12, 13, 15 со смежной специальностью 2.3.6. Методы и системы защиты информации, информационная безопасность. При докладе на защите в диссертационном совете требуется оговаривать условия, разграничивающие эти две специальности по каждому из защищаемых положений.

4. В тексте работы встречаются отдельные терминологические и редакционные неточности. В частности, целесообразно дополнительно унифицировать употребление терминов «динамическая подпись», «динамическая сигнатура», «реализация подписи», «образец» и «эталон», а также привести обозначение метрик FAR, FRR и EER к единому формату представления.

Указанные замечания не снижают общей научной и практической значимости диссертационной работы и не ставят под сомнение достоверность полученных автором основных результатов.

8. Заключение

Диссертационная работа Танцерова Александра Хабибуллоевича «Методы интеллектуального анализа динамических параметров подписи на основе искусственных нейронных сетей» является законченной научно-

квалификационной работой, в которой решена актуальная научно-техническая задача, связанная с повышением качества сопоставления и классификации реализаций динамической подписи на основе методов интеллектуального анализа данных и искусственных нейронных сетей.

Полученные в диссертации результаты обладают научной новизной, имеют теоретическую и практическую значимость, подтверждены экспериментальными исследованиями, апробацией и внедрением.

Диссертационная работа соответствует требованиям, установленным Положением о присуждении ученых степеней, а ее автор, Танцеров Александр Хабибуллоевич, заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.3.8.–«Информатика и информационные процессы».

Официальный оппонент: Иванов Александр Иванович
д. т. н., проф., научный консультант АО «Пензенский научно-исследовательский электротехнический институт», Интернет сайт организации: пниэи.рф, г. Пенза, ул. Советская-9,
тл. р. (841-2) 59-33-10 04.06.2026 А.И. Иванов

Подпись Иванова А.И. заверяю
Секретарь НТС АО «Пензенский научно-исследовательский электротехнический институт» Гашицкая О.М.

С отзывом ознакомлен
08.06.2026