

Экспериментальное исследование валидности передаваемой в составе биоподписи документа контекстной и биометрической информации

А. М. Алюшин^{1,2}

¹Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ»;

²ФГБОУ ВО «РЭУ им. Г.В. Плеханова»
alyshin@list.ru

С. В. Дворянкин

Российский государственный университет нефти и газа им. И.М. Губкина
s_dvrn@mail.ru

М. В. Алюшин

Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ»
mvalyushin@mephi.ru

Аннотация. Представлен анализ факторов, обуславливающих эффективность применения технологии биомаркирования важных документов с целью их защиты от подделки и фальсификации. Показано, что валидность передаваемой в составе биомаркера контекстной информации документа, а также биометрических данных его автора в значительной степени зависит от разрешающей способности применяемого для осуществления документооборота предприятия полиграфического оборудования. Предложена совокупность метрик для оценки качества передачи информации в составе биоподписи. Дан анализ влияния разрешающей способности оборудования на достоверность передачи контекстных и биометрических данных. Обоснованы требования к разрешающей способности применяемого полиграфического оборудования, обеспечивающего необходимое качество передачи информации с помощью биоподписи.

Ключевые слова: защита документов; биоподпись; валидность передачи информации

I. ВВЕДЕНИЕ

Биоподпись (БП) документа является одним из представителей цифровых биометрических технологий, позволяющих защитить важные документы от фальсификации и подделки [1]. Биоподпись представляет собой графический маркер, размещаемый на защищаемом документе [2]. Достоинством технологии БП является возможность совмещения в таком маркере информации как о контекстном содержании важных частей документа, так и об индивидуальных биометрических данных его автора [1, 2]. Такие биометрические данные дают возможность осуществить идентификацию личности автора документа, а также оценку его функционального и психоэмоционального состояния (ФПЭС) в момент составления и подписания документа.

К числу биопараметров автора документа, передаваемых в составе БП, в первую очередь, относятся: частота сердечных сокращений (ЧСС), артериальное давление (АД), частота и глубина дыхания (ЧД и ГД), двигательная активность (ДА), параметры сенсомоторных реакций, а также временная динамика

их изменения. БП также содержит фрагмент речевой информации (РИ) автора документа, фиксирующей наиболее важные аспекты защищаемой информации [1, 2]. Все указанные биопараметры допускают измерение с помощью сенсоров, встроенных в современные гаджеты.

В силу того, что БП [1, 2]:

- интегрирует в своем составе многоплановую информацию о документе и об индивидуальных биометрических параметрах его автора;
- защита документа с помощью БП предполагает этап создания и декодирования БП документа;
- для передачи некоторых видов биометрической информации используется прямое и обратное спектральные преобразования, например, Фурье-преобразование,

актуальным является подтверждение валидности передаваемых с помощью БП данных.

Под валидностью в данном случае понимается безошибочность, правильность, целостность передачи контекстной информации документа, а также биометрической информации его автора.

Целью работы является экспериментальное исследование валидности передаваемой с помощью БП контекстной и биометрической информации, обуславливающей правомерность защиты содержания документа, идентификации личности его автора, а также оценки его ФПЭС.

II. МЕТОДИКА ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЙ АПРОБАЦИИ

В работе для подтверждения валидности передаваемых в составе БП данных использовался метод сравнения. Сущность метода заключается в следующем. Для проведения экспериментального сравнения была выделена группа из 50 тестируемых людей, включая обучающихся. Первоначально, на первом этапе исследований осуществлялась запись в базу данных исходных данных, используемых для синтеза БП. К их числу были отнесены: РИ и биометрические данные, регистрируемые преимущественно с помощью носимых

устройств. Синтезированное в соответствии с разработанной технологией биомаркирования [1, 2] изображение БП наносилось на защищаемый документ с помощью печати.

На втором этапе исследований изображение БП с помощью сканера переводилось в цифровой вид и декодировалось с помощью разработанного специализированного программного обеспечения. В результате выполнения этой операции создавались вторичные файлы с информацией, аналогичной первоначальной.

На третьем этапе осуществлялось сравнение файлов с исходной контекстной и биометрической информацией с полученной после сканирования и декодирования информацией. Результаты сравнения являлись основой для формулирования выводов об адекватности передачи в составе БП того, либо иного вида информации. Для сравнения были использованы общепризнанные и апробированные методы и инструментальные средства.

III. ИСПОЛЬЗУЕМЫЕ ИНСТРУМЕНТАЛЬНЫЕ СРЕДСТВА

A. Подтверждение валидности контекстного содержания БП

Для подтверждения валидности получаемой после декодирования БП контекстной информации было проанализировано изменение фонемной разборчивости (ФР) РИ, содержащейся в БП. Для сравнения были использованы файлы с записью первоначальной РИ и с РИ, полученной после декодирования БП.

Целесообразность использования ФР для оценки качества передаваемой РИ обоснована в работе [3]. Для определения ФР использовался расчетный метод Покровского Н.Б. [4], позволяющий существенным образом снизить трудоемкость экспериментальных исследований по сравнению с субъективным методом, предполагающим привлечение специально подобранных экспертов (аудитов) в соответствии с ГОСТ Р 50840-95.

B. Подтверждение валидности передаваемой информации для идентификации личности автора документа

В качестве показателя валидности идентификационной информации, передаваемой в составе БП, было проанализировано изменение результатов идентификации автора документа. Для этой цели было осуществлено сравнение вероятности правильной идентификации автора документа на основе первоначальной информации и полученной после декодирования БП.

Для идентификации личности автора документа были использованы индивидуальные голосовые признаки. Для осуществления идентификации использовалась специализированная сертифицированная программная система GrifTecSpeaker-ID [5]. Данная система прошла проверку экспертного совета Минкомсвязи и включена в Единый реестр российских программ для электронных вычислительных машин и баз данных (Приказ Минкомсвязи России от 26.06.2017 №326). Применение данной системы позволило использовать исходные файлы с РИ тестируемых для создания базы с образцами различных голосов.

Такой подход полностью соответствует условиям использования технологии БП в документообороте предприятия, использующего биометрические технологии, например, в системах доступа в помещения предприятия, либо при проведении предметного мониторинга текущего ФПЭС сотрудников.

C. Подтверждение валидности передаваемой информации о ФПЭС автора документа

В силу того, что для определения ФПЭС человека на практике используется достаточно большое количество различных подходов и методик, в работе анализировались два следующих аспекта:

- валидность передачи исходных биометрических показателей автора, являющихся основой для оценки ФПЭС;
- валидность передачи в составе БП интегральных показателей состояния человека.

D. Передача исходных биометрических показателей

В работе исследовалась точность передачи с помощью БП значений наиболее типичных биопараметров, таких, как ЧСС, АД, ЧД, ГД и ДА. В качестве возможных диапазонов изменения указанных параметров рассматривались следующие: $60 \leq \text{ЧСС} \leq 180$ ударов в минуту; $90/50 \leq \text{АД} \leq 180/130$ мм рт. ст., $10 \leq \text{ЧД} \leq 30$ вдохов в минуту, $50 \% \leq \text{ГД} \leq 100 \%$ (от максимально возможного) и $50 \% \leq \text{ДА} \leq 100 \%.$

Современные носимые устройства (браслеты) дают возможность измерять ЧСС с точностью порядка 1–3 %. Так, например, для обеспечения точности передачи максимального и минимальных значений ЧСС с помощью БП в 1 % достаточно использовать $M=100\%/1\%=100$ градаций изменения ЧСС. Для классификации состояния человека на основе информации о величине ЧСС достаточно использовать существенно меньшее число градаций.

В соответствии с существующими нормативными документами ошибка измерения систолического и диастолического давлений [6, 7] не должна превышать 5 мм рт. ст., что приводит к необходимости использования соответственно $N_c=(180-90)/5=18$ и $N_d=(130-50)/5=16$ градаций кодировки этих величин.

Для кодирования и передачи в составе БП величин ЧД, ГД и ДА также требуется не более 60 градаций. Так, например, для кодирования величины ЧД, которая должна характеризоваться целым числом, достаточно $R=30-10=20$ градаций. Аналогичным образом, для кодирования величин ГД и ДА с точностью 1 % достаточно иметь $R=(100\% - 50\%)/1\%=50$ градаций.

Таким образом, для передачи в составе БП основных биопараметров с заданной точностью достаточно кодировать не более 100 градаций их возможных изменений в указанных ранее границах.

E. Передача интегральных показателей

В качестве интегрального показателя в работе в качестве типичного примера рассматривался уровень функционального состояния (УФС) центральной нервной системы человека [8, 9]. Для его определения используется простой компьютерный тест, легко реализуемый на современных гаджетах и не требующий значительных временных ресурсов. При тестировании

определяются параметры распределения величины X – времени простой зрительно-моторной реакции (среднего значения X_m , максимального и минимального значений – соответственно X_{MAX} и X_{MIN} , и δ).

Величина УФС рассчитывается следующим образом [10]:

$$УФС = 45 - \ln(X_m) + 0,03 \cdot \delta + 0,16 K_B - 0,06 \cdot M_o + 0,08 A_{MO} - 0,1 \Delta X,$$

где $K_B = 100\delta / X_m$ – коэффициент вариации; M_o – середина разряда гистограммы, имеющего максимальную частоту; A_{MO} – амплитуда моды в процентах (максимальная относительная частота гистограммы); $\Delta X = X_{MAX} - X_{MIN}$ – вариационный размах. В табл. 1 представлены типичные пороговые значения для интегрального показателя УФС, позволяющие определить текущее состояние тестируемого человека [10].

ТАБЛИЦА 1 Типичные пороговые значения для УФС [10]

№ пп	Функциональное состояние центральной нервной системы	Величина УФС
1	Оптимальное	$24,5 < УФС$
2	Сниженное	$18,5 \leq УФС \leq 24,5$
3	Существенно сниженное	$УФС < 18,5$

Таким образом, для передачи в составе БП информации о возможном диапазоне изменения величины УФС с точностью $\pm 0,5$ достаточно примерно 90 градаций ее величины.

IV. ОСОБЕННОСТИ КОДИРОВКИ БИОПАРАМЕТРОВ АВТОРА ДОКУМЕНТА В СОСТАВЕ БП

Для кодировки рассмотренных выше биопараметров в составе БП используется выделенный линейный фрагмент ее изображения. Как было показано выше, для отображения величины биопараметров достаточно использовать не более 100 градаций их максимальной величины. По этой причине вполне достаточно использовать 7 бит, позволяющих кодировать до 128 градаций. В силу невысокой скорости изменения величины ЧСС, АД, ЧД, ГД и ДА, возможно последовательное расположение 7-битовых чисел, кодирующих эти биопараметры, показанное на рис. 1. В приведенном на рис. 1 примере, изображение БП представлено в черно-белом формате, обеспечивающем наилучшую стабильность информации БП при ее копировании [3].

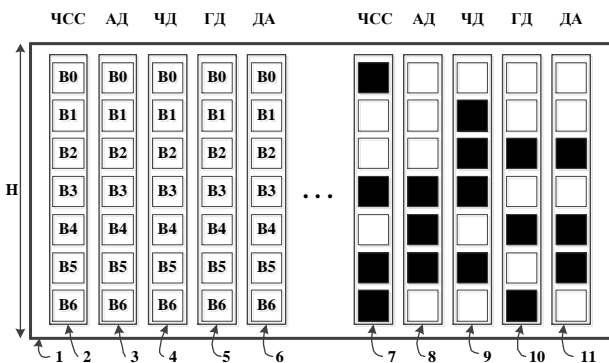


Рис. 1. Структура фрагмента изображения БП с биопараметрами

Для рассматриваемого случая прямоугольная область 1 содержит изображение БП, фрагменты изображений 2-6 и 7-11 кодируют 7-разрядные числа, кодирующие величины соответственно биопараметров ЧСС, АД, ЧД, ГД и ДА. Эти фрагменты изображений располагаются последовательно. В1-В6 – биты 7-разрядных чисел, при этом черный цвет соответствует логической единице, а белый – нулю.

V. РЕЗУЛЬТАТЫ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

В рамках проведенных экспериментальных исследований было изучено влияние разрешающей способности применяемых полиграфических средств на валидность передаваемой в составе БП информации. Для характеристики информационно-емкости БП с учетом разрешающей способности полиграфической техники было предложено использовать величину W (измеряемую в мм):

$$W = 25,4H/d,$$

где H – высота графического фрагмента БП (в точках), d – разрешающая способность полиграфической техники (в DPI – точек на дюйм).

На рис. 2а, рис. 2б и рис. 2с представлены полученные экспериментальные зависимости от параметра W валидности передачи в составе БП соответственно:

- идентификационных признаков РИ ($V_{СП}$);
- контекстного содержания БП ($V_{КС}$);
- биопараметров ($V_{БП}$).

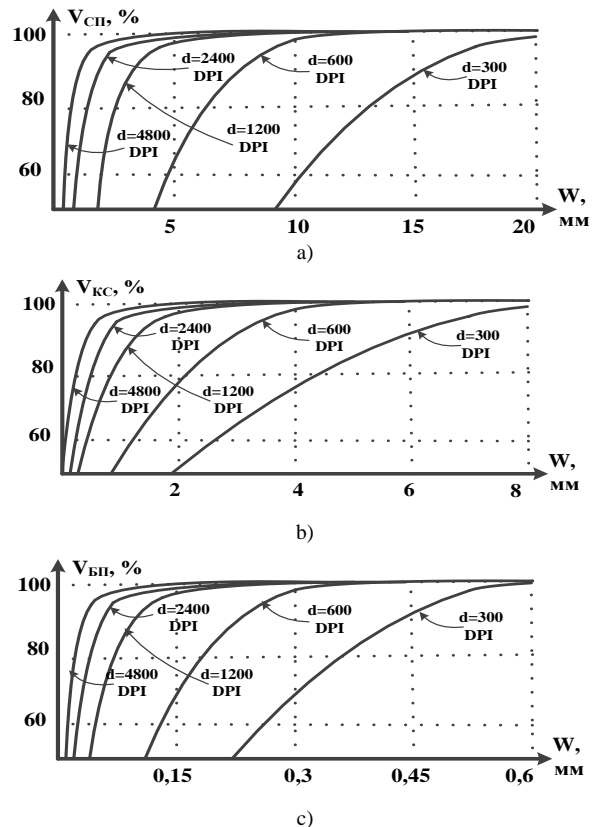


Рис. 2. Валидность передаваемой в составе БП информации

Значения $V_{БП}$ соответствуют качеству передачи информации о биопараметрах в процентах. Значения $V_{СП}$ соответствуют вероятности идентификации личности автора документа в соответствии с разделом В. Значения $V_{КС}$ соответствуют ФР.

При проведении исследований предполагалось, что:

- уменьшение параметра W , в первую очередь, приводит к ухудшению качества передачи младших бит для биопараметров и высших гармоник при передаче изображения спектрограммы РИ фрагмента БП;
- для передачи данных о биопараметрах достаточно использовать $N=7$ (точек);
- для передачи изображения спектрограммы РИ [1, 2] предполагается использование 256 точек по высоте изображения спектрограммы, что соответствует временному окну при выполнении БПФ в 512 отсчетов.

Приведенные на рис. 2 зависимости в частности показывают, что для передачи:

- индивидуальных параметров голоса автора документа, обеспечивающих 95 % распознавание, необходимо ориентироваться на высоту изображения спектрограммы $W \geq 19$ мм при $d=300$ DPI, либо $W \geq 9/5, 2/2, 5/1, 3$ мм соответственно для $d=600/1200/2400/4800$ DPI;
- контекстного содержания документа с 95 % формантной разборчивостью необходимо использовать графическое изображение БП высотой $W \geq 8$ мм при $d=300$ DPI, либо $W \geq 4/2/1/0,5$ мм соответственно для $d=600/1200/2400/4800$ DPI;
- биопараметров со 100% точностью необходимо обеспечить высоту соответствующего фрагмента изображения $W \geq 0,6$ мм при $d=600$ DPI, либо $W \geq 0,3/0,15/0,075/0,04$ мм соответственно для $d=600/1200/2400/4800$ DPI.

Полученные экспериментальные зависимости дают возможность определить необходимый размер изображения БП, обеспечивающий передачу с заданным качеством контекстной, идентификационной и

биометрической информации при использовании полиграфической техники определенного качества.

VI. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Таким образом, БП является эффективным цифровым информационным инструментом защиты важных документов от подделки и фальсификации за счет интегрирования в своем составе комплексной информации о контекстном содержании его важных разделов, а также биометрические данные его автора, необходимые для идентификации личности и оценки ФПЭС.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- [1] Alyushin A.M. Document protection technology in the digital economics using cognitive biometric methods. *Procedia Computer Science*, 2020, vol. 169, pp. 887–891. Available at: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1877050920302702?via%3Dihub>
- [2] Alyushin A.M. Assessment of a person's psychoemotional state by his signature on the document as the basis for his disavowal. *Voprosy Psikhologii*, 2018, no. 2, pp. 133–140.
- [3] Алюшин А.М. Формантная разборчивость как универсальный показатель информативности речевой подписи и биоподписи документа. // Международная конференция по мягким вычислениям и измерениям, Россия, Санкт-Петербург, 2022 г.
- [4] Покровский Н.Б. Расчет и измерение разборчивости речи. М.: Гос. изд-во лит. по вопросам связи и радио, 1962. 391 с.
- [5] GritTec Speaker-ID: The mobile client - Программный комплекс голосовой идентификации. http://www.grittec.ru/speaker-id_voice-identification.html
- [6] Гусаров Г.В., Морошкин В.С., Тихоненко В.М. Точность измерения артериального давления в отечественном суточном мониторе "Кардиотехника-4000-АД" и возможность его применения у больных с нарушениями ритма // *Вестник Аритмологии*. 05.06.1998. №9. С. 35–38.
- [7] American National Standard for Electronic or Automated Sphygmomanometers: ANSI/AAMI SP10-1987. Arlington, VA: Association for the Advancement of Medical Instrumentation, 1993, 40p.
- [8] Сорокина М.А. Особенности функционального состояния центральной нервной системы у преподавателей высшей школы // *Фундаментальные исследования*. 2008. № 11. С. 28-32.
- [9] Ендриховский С.Н., Шамшинова А.М., Соколов Е.Н., Нестерюк Л.И. Время сенсомоторной реакции человека в современных психофизических исследованиях. // *Сенсорные системы*. 1996. Т.10, №2. С. 13-29.
- [10] Патент RU2573340C2 / А.Н. Царев. Способ оценки уровня функционального состояния центральной нервной системы человека на основе измерения времени ориентировочной зрительно-моторной реакции человека. Оpubл: 20.01.2016. Бюл. №2.