

23. Yi-Min Lin, Jau-Yet Wu, Chien-Ching Lin, Hsie-Chia Chang. A Long Block Length BCH Decoder for DVB-S2 Application, *ISIC*, 2009, pp. 171-174.
24. Lee Y., Yoo H., Jung J., Jo J., Park I. A 2.74-pJ/bit, 17.7-Gb/s Iterative Concatenated-BCH Decoder in 65 nm CMOS for NAND Flash Memory, *IEEE Journal of Solid-State Circuits*, 2013, Vol. 48, No. 10, pp. 2531-2540.

Статью рекомендовал к опубликованию к.т.н. С.В. Николаев.

Поперечный Павел Сергеевич – Институт проблем проектирования в микроэлектронике Российской академии наук (ИППМ РАН); e-mail: ppoperechny@elvees.com; 124365, Москва, Зеленоград, ул. Советская, 3; аспирант.

Poperechny Pavel Sergeevich – Institute for Design Problems in Microelectronics of Russian Academy of Sciences (IDPM RAS); e-mail: ppoperechny@elvees.com; 3, Sovetskaya street, Zelenograd, Moscow, 124365, Russia; postgraduate student.

УДК 004.934

И.И. Иванов

РАЗРАБОТКА МЕТОДА ОПРЕДЕЛЕНИЯ ВЕКТОРОВ ПРИЗНАКОВ ПО ПОРОЖДАЕМОМУ РЕЧЕВОМУ СИГНАЛУ ДЛЯ ПРОЦЕДУРЫ АУТЕНТИФИКАЦИИ

Целью статьи является разработка нового метода биометрической аутентификации личности по порождаемому речевому сигналу на основе реконструированных компонент векторов состояния модели речевого процесса. Приведены недостатки существующих систем аутентификации, в которых для извлечения идентифицирующих признаков речевого сигнала применяют спектральные характеристики в частотно-временной области: метода мел-частотных кепстральных коэффициентов (mel frequency cepstral coefficients), метода кепстральных коэффициентов линейного предсказания (linear prediction cepstral coefficients). Задачей исследования является использование реконструированных компонент векторов состояния в качестве идентифицирующих коэффициентов для систем биометрической аутентификации. Для решения поставленной задачи был разработан метод, который учитывает нестационарность и внутреннюю нелинейную динамику речеобразующего аппарата на основе реконструированных компонент векторов состояния модели речевого процесса. В основе предложенного метода лежат алгоритмы нелинейной динамики и оценки параметров динамических систем по хаотическим временным рядам. Для подтверждения гипотезы о возможности использования реконструированных компонент векторов состояния в качестве идентификационного признака для систем биометрической аутентификации в системах контроля и управления доступом проведен численный эксперимент с использованием описанной модели. Целью эксперимента является подтверждение единообразия полученных из реконструированных компонент векторов состояния идентифицирующих коэффициентов. Численный эксперимент проводился на основе акустического материала, полученного из базы произношений Forvo. В качестве исходных речевых сигналов на вход системы формирования идентифицирующих признаков подавались несжатые 16-битные .wav-файлы (PCM-signed) с частотой дискретизации 44,1 кГц. Результаты эксперимента показали, что скорость реализации предложенного метода значительно выше, чем, основанного на спектральных характеристиках в частотно-временной области – метода мел-частотных кепстральных коэффициентов, поэтому можно с уверенностью утверждать, что применение метода определения векторов признаков по порождаемому речевому сигналу может являться альтернативным подходом для аутентификации пользователей высоконадежных систем. Такой подход позволяет снизить результаты негативного воздействия внешних факторов и избежать необходимости предварительной фильтрации.

Голосовая идентификация личности; вектора состояния; метод мел-частотных кепстральных коэффициентов; метод кепстральных коэффициентов линейного предсказания; компоненты векторов-состояния модели речевого процесса.

I.I. Ivanov

DEVELOPMENT OF THE METHOD OF FEATURE VECTORS CHARACTERISTICS IN SPEAKER RECOGNITION PROCESS

This paper presents the method allowing use the reconstructed components of state vectors for the identifying users of highly reliable computing systems by coefficients for systems of biometric authentication. The existing identifiable characteristics extraction from the speech signals methods such as method of identifiable feature extraction from speech signals: mel-frequency cepstral coefficient method, a method the cepstral coefficients of a linear prediction are described. The objective of this paper is to present the method allowing to use the reconstructed components of state vectors as the identifying coefficients for systems of biometric authentication of users of highly reliable computing systems. Shortcomings of authentication systems applying spectral characteristics in time-frequency localization (area) are emphasized. The quality of these systems is in direct relationship to speech sample volume of the estimated selection, external noise has a very significant effect on these systems. To solve this problem we developed a method that takes into account the non-stationary and nonlinear dynamics of inner speech production apparatus based on the components of the state of the reconstructed model of the speech process. The numerical experiment was conducted and its results are presented with use of the described model. The object of the research is the speech signals; the samples of words and phonemes from pronunciation database recorded by one speaker were used as an experimental material. For the solution of the task next lines of the experiment were determined: experimental evidence of coefficient consistency obtained from reconstructed state –vector component for [o] and [i] phonemes; experimental evidence of possible use of state vectors obtained from reconstruction coefficient. Numerical experiment evidences were summarized: the obtained state vectors represents individual characteristics of a speaker; near live environment testing (experimenting) indicates the possibility of further practical use; no-need for spectral characteristics application in time frequency localization for identifying feature extraction allows to decrease some negative impact of the environment and avoid pre filtration requirement. Some suggestions for further use of obtained state vectors for authentication systems: clusterization to find average state vector, with the use k-average method, affinity measure identification rectangular metric.

Speaker recognition; voice identification; personality state vector; mfcc; mel frequency cepstral coefficients; lpcc linear prediction cepstral coefficients; components of vector-state model of the speech process.

Актуальность. На сегодняшний день голосовые биометрические признаки являются наиболее неотчуждаемыми и для большинства не вызывают психологической неприязни [1]. Основными преимуществами голосовой идентификации являются:

- ◆ удобство ввода;
- ◆ возможность исследования биометрических характеристик субъектов online (во время телефонного разговора, видеоконференцсвязи) [2];
- ◆ речевой канал, наряду со зрительным, исторически сложившийся способ взаимодействия человека с окружающим миром [3].

В современных системах аутентификации для извлечения идентифицирующих признаков речевого сигнала применяют спектральные характеристики в частотно-временной области [4]. Стоит отметить, что качество таких систем находится в прямой зависимости от объема оцениваемой выборки (чем больше объем выборки, тем точнее система), кроме того большое влияние на подобные системы оказывает воздействие внешних шумов. Однако увеличение размера выборки в целях повышения качества системы аутентификации для речевого сигнала является неприемлемым, из-за нестационарности речевого сигнала.

Из существующих методов, рассматривающих сигнал в частотно-временной области, на практике наиболее часто применяются методы, основанные на спектральных коэффициентах:

- ♦ метод мел-частотных кепстральных коэффициентов (MFCC – mel frequency cepstral coefficients) [5]:

$$c(n) = \sum_{i=0}^{K-1} S(i) \cos\left(\left(i + \frac{1}{2}\right) \frac{i\pi}{K}\right), \quad (1)$$

где $c(n)$ – коэффициент с номером n , K – заранее определенное количество кепстров ($n \in [1, K]$), $S(i)$ – амплитуда i -го значения в кадре ($i = 1, \dots, K$);

- ♦ метод кепстральных коэффициентов линейного предсказания (LPCC – Linear Prediction Cepstral Coefficients) [6]:

$$c(n) = \begin{cases} a_n + \sum_{i=1}^{n-1} \frac{i}{n} c_i a_{n-i}, & 1 \leq n \leq p \\ \sum_{i=n-p}^{n-1} \frac{i}{t} c_i a_{n-i}, & n > p \end{cases}, \quad (2)$$

где p – заранее определенное количество коэффициентов $\{a_n\}_{i=1}^p$ авторегрессионной модели кадра (коэффициенты считаются постоянными на протяжении всей длины) [7].

Преимущества данных методов обусловлены меньшей зависимостью, полученных идентификационных признаков от длины исходного образца, относительно малый исходный размер выборки и учет в нем разброса индивидуальных характеристик голосового тракта идентифицируемого субъекта [8, 9, 10].

В настоящее время при исследовании задач, связанных с синтезом речи и аутентификацией, популярным математическим аппаратом является математическая статистика и статистическое моделирование [11]. Однако реальный речевой сигнал обладает хаотической природой, так как речь представляет собой нестационарный (статистические свойства речевого сигнала изменяются во времени, а параметры неустойчивы относительно условий среды распространения) [12], стохастический сигнал [13]. Принимая во внимание стохастическую природу, речевого сигнала можно сделать вывод, что к речевому сигналу применима теорема Такенса [13]. Следовательно, можно утверждать, что существует возможность использования реконструированных компонент векторов состояния модели речевого процесса для получения идентификационных коэффициентов векторов признаков, в целях биометрической идентификации личности.

Таким образом, **задачей данного исследования** является обоснование использования реконструированных компонент векторов состояния в качестве идентифицирующих коэффициентов для систем биометрической аутентификации [14–16]. Применение такого подхода позволит учитывать нестационарность и внутреннюю нелинейную динамику речеобразующего аппарата и, соответственно, может дать более адекватные исходному сигналу результаты и сократить объем получаемых векторов сравнения.

Метод решения. В исследовании использована следующая модель речевого процесса:

$$x_1 = \int_0^t S(t) dt, x_2 = \int_0^t x_1 dt, , \quad (3)$$

где $S(t)$ – исходный речевой сигнал; x_1, x_2 , – входной речевой процесс (возбуждение в речевом тракте); c_0, \dots, c_n – идентифицирующие коэффициенты (импульсные характеристики речевого процесса).

Так как структура модели неизвестна, то воспользуемся технологией «черного ящика» при реконструкции и в качестве аппроксимирующей нелинейности для математической модели площади поперечного сечения речевого тракта используем алгебраический многочлен второго порядка:

$$S(t) = S(x_1, x_2) = c_0 + c_1 x_1 + c_2 x_2 + c_3 x_1 x_2 + c_4 x_1^2 + c_5 x_2^2 + c_6 x_1^2 x_2 + c_7 x_1 x_2^2 + c_8 x_1^2 x_2^2. \quad (4)$$

Структурно процедуру получения идентификатора для системы аутентификации можно разделить на три этапа:

- ◆ получение исходного сигнала и предварительная обработка;
- ◆ восстановление компонент векторов состояния и получение коэффициентов;
- ◆ формирование идентификационной базы.

В современном русском языке ученые выделяют 39 фонем. Петербургская фонологическая школа определяет в русском языке 43 фонемы: [а, э, и, о, у, ы, п, п', б, б', м, м', ф, ф', в, в', т, т', д, д', н, н', с, с', з, з', р, р', л, л', ш, ж, щ, ж, ц, ч, й, к, к', г, г', х, х']. Фонему [ж], которая практически не употребляется (звонкий [щ]) не выделяют в качестве отдельной фонемы. Московская фонологическая школа не выделяет фонему [ы], а также твёрдые и мягкие варианты фонем [к, г, х] [17].

Как правило в исследованиях используются наиболее значимые для процедуры определения коэффициентов идентификации фонемы [а э и о у]. Непрерывный речевой сигнал не удовлетворяет ни условию существования, ни условию определенности на бесконечном интервале времени, значит необходимо разделить речевой сигнал на сегменты/фреймы некоторой длины, спектры которых остаются относительно неизменными в течение выбранного периода времени (обычно 5–100 мс). Кадрирование исходного образца на отрезки заданной длительности осуществляется с половинным перекрытием (для борьбы с искажениями, вызванными расположенными рядом кадрами) либо без перекрытия (для экономии вычислительных ресурсов). Выходной сигнал в пределах полученного кадра можно считать стационарным. С точки зрения динамики речи, самые быстрые изменения могут происходить всего за несколько миллисекунд, в то время, как некоторые гласные звуки остаются относительно стабильными в течение 100–200 мс [18], как правило для последующей обработки используют фрагменты длиной 5–30 мс.

К кадрированным речевым сигналам, содержащим фонемы, применяем процедуру последовательного численного интегрирования методом трапеций с накоплением:

$$c = \left(\frac{S(x_0) + S(x_n)}{2} + \sum_{i=1}^{n-1} S(x_i) \right) \Delta. \quad (5)$$

Используя x_1, x_2 из выражений (4), составим матрицу для оценки коэффициентов идентификации [18]:

$$B_1 = \begin{pmatrix} 1 & x_1(i_1) & \dots & x_1(i_1)^2 x_2(i_1)^2 \\ 1 & x_1(i_2) & \dots & x_1(i_2)^2 x_2(i_2)^2 \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ 1 & x_1(i_{N-m}) & \dots & x_1(i_{N-m})^2 x_2(i_{N-m})^2 \end{pmatrix}. \quad (6)$$

Для поиска коэффициентов в (4) воспользуемся линейным методом наименьших квадратов [19] в постановке, описанной в [15]:

$$S(c_0, \dots, c_{26}) = \sum_{i=1}^{N-m} \left[x_D(t_i) - F_D(x_1(t_i), \dots, x_D(t_i)) \right]^2 \rightarrow \min. \quad (7)$$

Составим матрицу получения коэффициентов для (4):

$$C = \begin{pmatrix} 1 & x_1(i_1) & \dots & x_1(i_1)^2 x_2(i_1)^2 \\ 1 & x_1(i_2) & \dots & x_1(i_2)^2 x_2(i_2)^2 \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ 1 & x_1(i_{N-m}) & \dots & x_1(i_{N-m})^2 x_2(i_{N-m})^2 \end{pmatrix} \times \begin{pmatrix} S_1 \\ S_2 \\ \dots \\ S_N \end{pmatrix}^{-1}. \quad (8)$$

Указанные коэффициенты и есть набор признаков для биометрической идентификации личности. Этот набор зависит от произносимого звука и индивидуальных особенностей речевого тракта говорящего.

Для подтверждения гипотезы о возможности использования реконструированных компонент векторов-состояния в качестве идентификационного признака для систем биометрической аутентификации проведем вычислительный эксперимент с использованием описанной модели. В качестве объекта исследования рассматривается речевой сигнал, в качестве экспериментального материала – образцы слов и фонем из базы произношений, записанные одним диктором. Для решения поставленной задачи определим следующие направления исследования:

- ◆ экспериментальное подтверждение единообразия полученных из реконструированных компонент векторов состояния коэффициентов для фонемы [o];
- ◆ экспериментальное подтверждение единообразия полученных из реконструированных компонент векторов состояния коэффициентов для фонемы [u];
- ◆ экспериментальное подтверждение возможности использования векторов состояния полученных из коэффициентов реконструкции.

В качестве исходных речевых сигналов использовались несжатые 16-битные wav-файлы (PCM-signed) с частотой дискретизации 44,1 кГц. Графики для используемых образцов представлены на рис. 1 и 2.

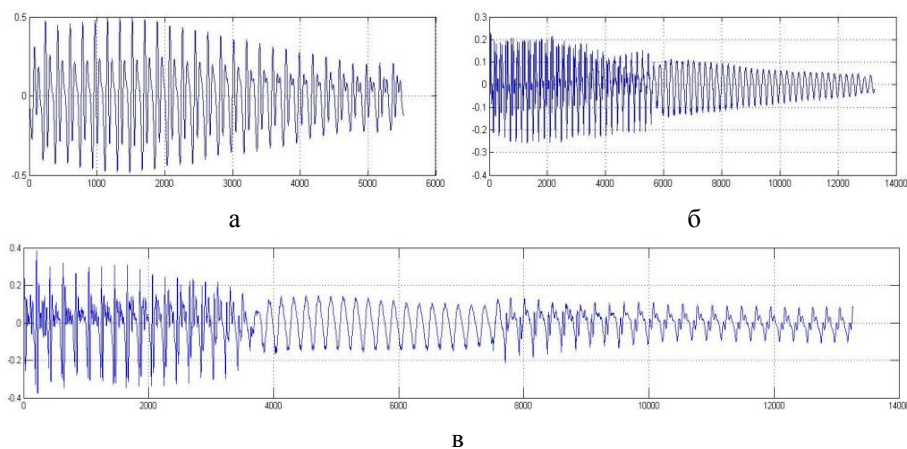


Рис. 1. Исходные речевые сигналы, содержащие фонему «О», произнесенные диктором женщиной 35 лет: а – фонема «О»; б – слово «ОН»; в – слово «ОНО»

Исходные речевые сигналы, содержащие фонемы, разделим на сегменты/кадры по 9 мс (или 400 отсчетов на кадр) и дополним нулями для получения необходимой длины окна, остаток речи, который не занимает целый кадр, как правило, либо отбрасывается, либо, как в нашем случае, дополняется нулями.

Для всех речевых образцов путем предварительной обработки добьемся необходимой длительности речеобразующей фонемы: для «О» длительность составляет 125 мс, что соответствует порядка 5600 отсчетам (рис. 1), для «И» – 110 мс, что соответствует порядка 5200 отсчетам (рис. 2).

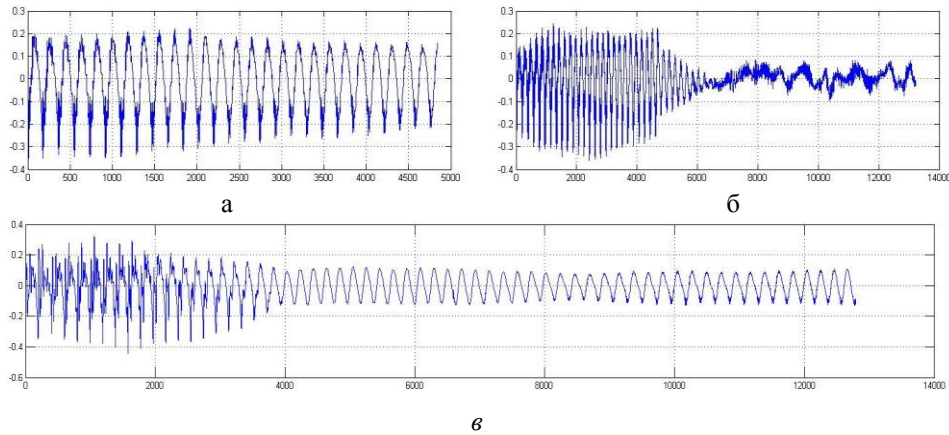


Рис. 2. Исходные речевые сигналы, содержащие фонему «И», произнесенные диктором женщиной 35 лет: а – фонема «И»; б – слово «ИХ»; в – слово «ОНИ»

Используя процедуру вычисления реконструированных компонент векторов состояния, получим наборы девятиэлементных векторов для каждого речевого образца, содержащего фонему. В целях минимизации воздействия ошибок отбросим первый и последний вектор:

- ♦ для фонемы «О» получим двенадцать девятиэлементных векторов, для слов «ОН» и «ОНО» – тридцать векторов. Фрагменты полученных векторов-состояния представлены на рис. 3;
- ♦ для фонемы «И» получим одиннадцать девятиэлементных векторов, для слов «ИХ» и «ОНИ» – тридцать два и тридцать векторов соответственно. Фрагменты полученных представлены на рис. 4

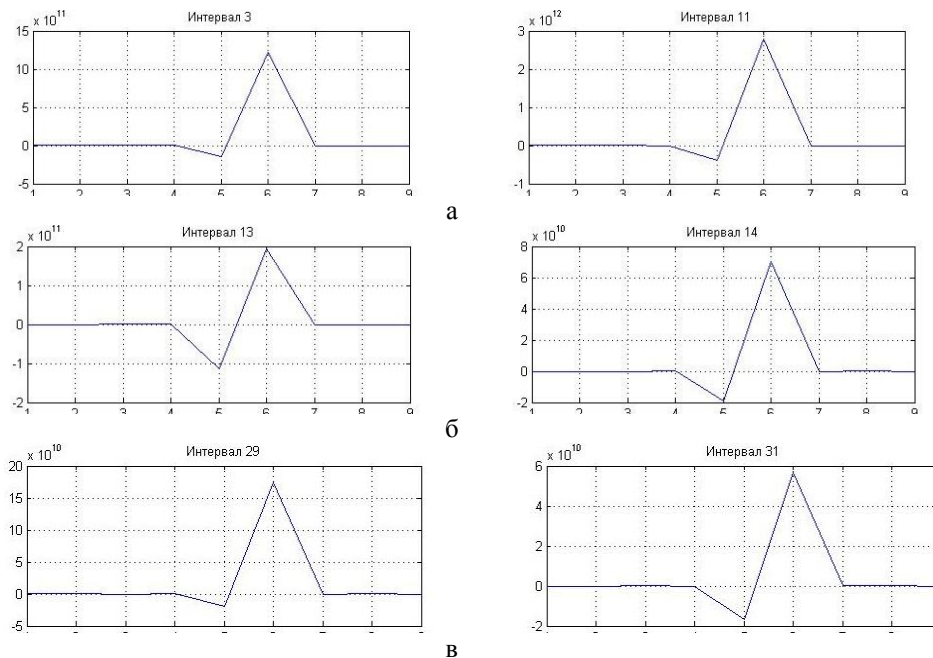


Рис. 3. Девятиэлементные вектора-состояния для фонемы «О», полученные на интервалах: 1 и 12 для «О» – а; 2 и 8 для «ОН» – б; 2 и 19 для «ОНО» – в

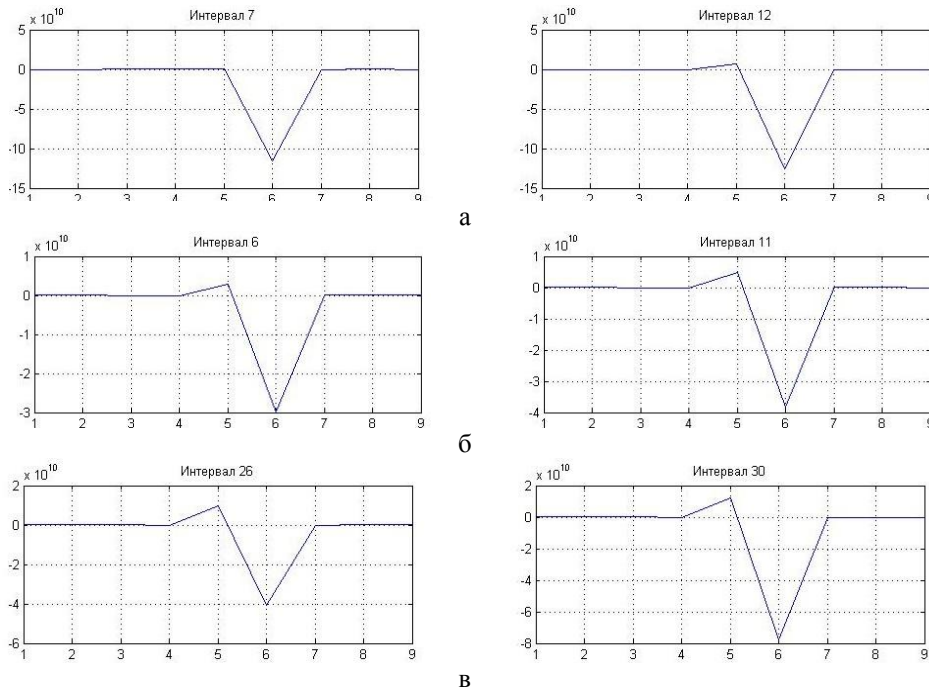


Рис. 4. Девятиэлементные вектора-состояния для фонемы «И», полученные на интервалах: 7 и 12 для «И» с длительностью 110 мс – а; 6 и 11 для «ИХ» с длительностью 300 мс – б; 26 и 30 для «ОНИ» с длительностью 290 мс – в

Результаты. В результате проведенного численного эксперимента были получены наборы коэффициентов реконструкции для фонем [o] и [u], из которых сформированы вектора признаков.

Анализ элементов векторов различных фонем показывает их повторяемость для одинаковых фонем с точностью:

- ◆ фонему «О» характеризуют два набора, полученных векторов: набор А с повторяемостью 50 %, набор Б – 21 %;
- ◆ в слове «ОН» набор А встречается в 47 % процентах случаев, набор Б – в 26 %;
- ◆ в слове «ОНО» набор А встречается в 25 % случаев, набор Б – в 25 % процентах случаев;
- ◆ фонему «И» характеризуют два набора, полученных векторов: набор А с повторяемостью 31 %, набор Б – 39 %;
- ◆ в слове «ИХ» набор А встречается в 31% процентах случаев, набор Б – в 39 %;
- ◆ в слове «ОНИ» набор А встречается в 15% случаев, набор Б – в 39 % процентах случаев.

Для различных фонем одного диктора наблюдается существенное различие набора идентификационных коэффициентов.

Для оценки вычислительной сложности проведем сравнительную оценку разработанного способа с методом мел-спектральных коэффициентов. Результаты сравнения предложенного метода и метода MFCC, который считается наиболее быстрым с точки зрения реализации [5], представлены в табл. 1.

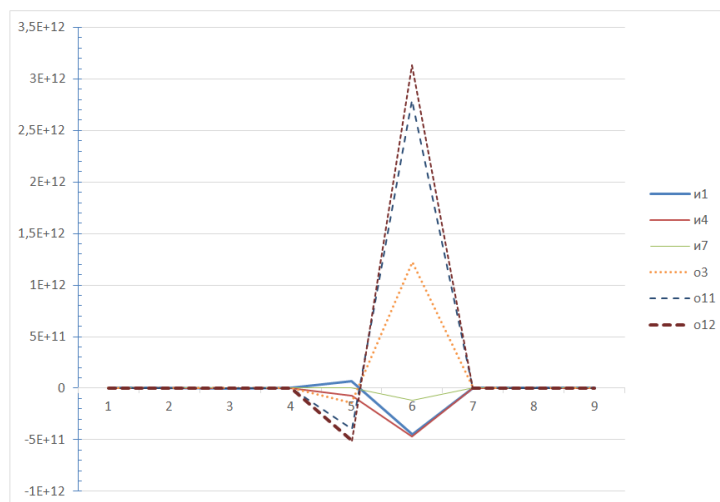


Рис. 5. Сравнение векторов признаков для фонем «И» на интервалах 1,4,7 и «О» на интервалах 3,11,12

Таблица 1

Сравнение размерности векторов-состояния

Метод Фонема	MFCC		Предложенный метод	
	Количество векторов-состояния	Размерность вектора	Количество векторов-состояния	Размерность вектора
«О»	24	32	14	9
«ОН»	24	81	34	9
«ОНО»	24	81	34	9
«И»	24	28	13	9
«ИХ»	24	81	34	9
«ОНИ»	24	78	32	9

Значения некоторых коэффициентов реконструкции для различных дикторов и одинаковой фонеме приведено на рис. 6

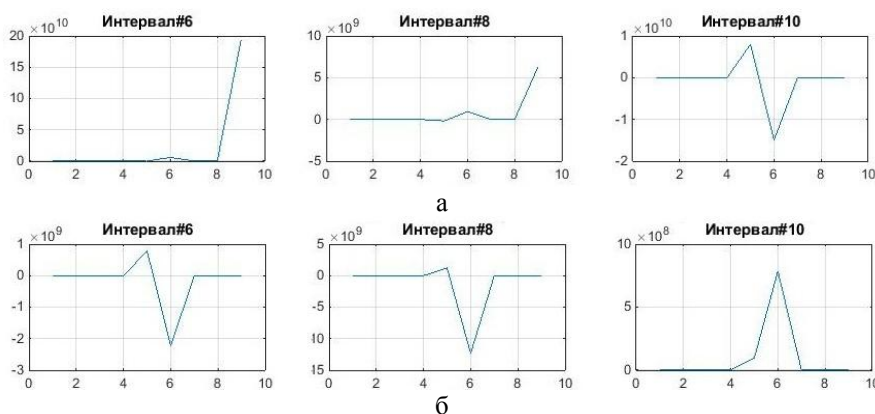


Рис. 6. Сравнение векторов признаков для фонемы «А», произнесенной разными дикторами одной возрастной группы, на интервалах 6, 8, 10

Выводы. На основании полученных в ходе эксперимента данных можно сделать следующие выводы:

- ◆ применение метода определения векторов признаков по порождаемому речевому сигналу может являться альтернативным подходом для аутентификации пользователей по речевому сигналу;
- ◆ полученные из коэффициентов реконструкции вектора признаков отражают индивидуальные особенности диктора, что делает возможным их эффективное использования для аутентификации в компьютерных системах (см. рис. 5);
- ◆ проведение эксперимента в условиях близких к реальным условиям эксплуатации свидетельствует о возможности дальнейшего практического использования;
- ◆ отсутствие необходимости применения спектральных характеристик в частотно-временной области для извлечения идентифицирующих коэффициентов речевого сигнала позволяет снизить результаты негативного воздействия внешних факторов и избежать необходимости предварительной фильтрации;
- ◆ значительно меньшее количество коэффициентов реконструкции, чем мел-кепстральных коэффициентов (таблица 1) свидетельствует о меньшем потреблении ресурсов системы, что позволяет говорить о возможности использования в мобильных приложениях.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Иванов А.И.* Нейросетевые технологии биометрической аутентификации пользователей открытых систем: дис. ... д-ра техн. наук. – М., 2002. – 383 с.
2. *Klein D.V.* «Foiling the cracker»: A survey of and improvements to, password security // UNIX Security II: USENIX Workshop Proceedings. Berkeley, 1990. – P. 5-14.
3. *Афанасьев А.А.* Аутентификация. Теория и практика обеспечения безопасного доступа к информационным ресурсам: Учебное пособие для вузов. – М.: Горячая линия-Телеком, 2009. – Гл. 11.
4. *Харкевич А.А.* Спектры и анализ. – М.: Государственное изд-во технико-теоретической литературы, 1953. – 213 с.
5. *Заковряшин А.С., Малинин П.В., Лепендин А.А.* Применение распределений мел-частотных кепстральных коэффициентов для голосовой идентификации личности // Управление, вычислительная техника и информатика. – 2007. – № 5. – С. 156-160.
6. *Репалов С.А.* Разработка математических моделей и робастных алгоритмов идентификации дикторов по их речи: дис. ... канд. физ.-мат. наук. – Ростов-на-Дону, 2003. – 146 с.
7. *Ермилов А.В.* Методы, алгоритмы и программы решения задач идентификации языка и диктора: дис. ... канд. физ.-мат. наук. – М., 2014. – 135 с.
8. *Сорокин В.Н.* Теория речеобразования. – М.: Радио и связь, 1985. – 312 с.
9. *Турчак Л.И., Плотников П.В.* Основы численных методов: учебное пособие. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Физматлит, 2003. – 304 с.
10. *Якушев Д.В.* Увеличение длительности временного окна реконструкции математической модели хаотической динамической системы с помощью дробно-рационального интерполирования // Современные методы и средства обработки пространственно-временных сигналов: Сборник статей 6-й Всероссийской научно-технической конференции. – Пенза, 2008. – С. 54.
11. *Rabiner L., Juang B.-H.* Fundamentals of speech recognition: Prentice-Hall, Inc., 1993. – 507 p.
12. *Копытов В.В., Якушев Д.В., Иванов И.И., Семеняк И.А.* Методы оценки параметра кубического отображения по хаотическим временным рядам с шумом // Вестник СевКав-ГТИ: Сб. научных трудов преподавателей и аспирантов. – Ставрополь: СевКавГТИ, 2012. Вып. XIII. – 224 с.
13. *Анищенко В.С., Астахов В.В., Вадивасова Т.Е., Нейман А.Б., Стрелкова Г.И.* Нелинейные эффекты в хаотических и стохастических системах. – Москва-Ижевск: Институт компьютерных исследований, 2003. – 544 с.

14. *Takens F.* Detecting Strange Attractors in Turbulence, in *Dynamical Systems and Turbulence: Lecture Notes in Mathematics*, Vol. 898 [ed. by D. Rang and L.S. Young]. Springer, Berlin, Heidelberg, 1980. – 366 p.
15. *Безручко Б.П., Смирнов Д.А.* Математическое моделирование и хаотические временные ряды. – Саратов: ГосУНЦ «Колледж», 2005. – 320 с.
16. *Малинецкий Г.Г., Потапов А.Б.* Современные проблемы нелинейной динамики. – 2-е изд., исправл. и доп. – М.: Едиториал УРСС, 2002. – 360 с.
17. Фонема. URL: <http://ru.wikipedia.org/wiki/Фонема> (дата обращения: 15.10.2015).
18. Бортовые информационные системы: курс лекций. URL: <http://window.edu.ru/catalog/pdf2txt/082/59082/29039> (дата обращения: 15.10.2015).
19. *Якушев Д.В., Копытов В.В.* Методы кодирования речевых сигналов с помощью реконструированной модели речевого процесса // *Известия ЮФУ. Технические науки.* – 2013. – № 1 (138). – С. 37-44.

REFERENCES

1. *Ivanov A.I.* Neyrosetevye tekhnologii biometricheskoy autentifikatsii pol'zovateley otkrytykh sistem: dis. ... d-ra tekhn. nauk [Neural network technology biometric user authentication for open systems. Dr. eng. sc. diss.]. Moscow, 2002, 383 p.
2. *Klein D.V.* «Foiling the cracker»: A survey of and improvements to, password security, *UNIX Security II: USENIX Workshop Proceedings*. Berkeley, 1990, pp. 5-14.
3. *Afanasyev A.A.* Autentifikatsiya. Teoriya i praktika obespecheniya bezopasnogo dostupa k informatsionnym resursam: Uchebnoe posobie dlya vuzov [Authentication. Theory and practice of secure access to information resources: the textbook for high schools]. Moscow: Goryachaya liniya-Telekom, 2009, Ch. 11.
4. *Kharkevich A.A.* Spektry i analiz [Spectra and analysis]. Moscow: Gosudarstvennoe izd-vo tekhniko-teoreticheskoy literatury, 1953, 213 p.
5. *Zakovyashin A.S., Malinin P.V., Lependin A.A.* Primenenie raspredeleniy mel-chastotnykh kepstral'nykh koeffitsientov dlya golosovoy identifikatsii lichnosti [The use of the distributions of Mel-frequency cepstral coefficients for voice identification], *Upravlenie, vychislitel'naya tekhnika i informatika* [Management, Computer Sciences and Informatics], 2007, No. 5, pp. 156-160.
6. *Repalov C.A.* Razrabotka matematicheskikh modeley i robastnykh algoritmov identifikatsii diktora po ikh rechi: dis. ... kand. fiz.-mat. nauk [Development of mathematical models and robust algorithms to identify speakers by their speech. Cand. phys. and math. sci. diss.]. Rostov-on-Don, 2003, 146 p.
7. *Ermilov A.V.* Metody, algoritmy i programmy resheniya zadach identifikatsii yazyka i diktora: dis. ... kand. fiz.-mat. nauk [Methods, algorithms and programs for solving tasks of identification of language and speaker. Cand. phys. and math. sci. diss.]. Moscow, 2014, 135 p.
8. *Sorokin B.N.* Teoriya recheobrazovaniya [The theory of speech formation]. Moscow: Radio i svyaz', 1985, 312 p.
9. *Turchak L.I., Plotnikov P.V.* Osnovy chislennykh metodov: uchebnoe posobie [Fundamentals of numerical methods: a tutorial]. 2nd ed. Moscow: Fizmatlit, 2003, 304 p.
10. *Yakushev D.V.* Uvelichenie dlitel'nosti vremennogo okna rekonstruktsii matematicheskoy modeli khaoticheskoy dinamicheskoy sistemy s pomoshch'yu drobno-ratsional'nogo interpolirovaniya [Increasing the duration of the time window of the reconstruction of mathematical models of chaotic dynamical systems via rational interpolation], *Sovremennye metody i sredstva obrabotki prostranstvenno-vremennykh signalov: Sbornik statey 6-y Vserossiyskoy nauchno tekhnicheskoy konferentsii* [Modern methods and means of the processing of spatio-temporal signals: collected papers of the 6th all-Russian scientific technical conference]. Penza, 2008, pp. 54.
11. *Rabiner L., Juang B.-H.* Fundamentals of speech recognition: Prentice-Hall, Inc., 1993, 507 p.
12. *Kopytov V.V., Yakushev D.V., Ivanov I.I., Semenyak I.A.* Metody otsenki parametra kubicheskogo otobrazheniya po khaoticheskim vremennym ryadam s shumom [Methods of assessment of parameter cubic map from chaotic time series with noise], *Vestnik SevKavGTI: Sb. nauchnykh trudov prepodavateley i aspirantov* [Bulletin of SevKavgtu": Collection of scientific works of teachers and graduate students]. Stavropol': SevKavGSh, 2012, Issue XIII, 224 p.

13. Anishchenko B.C., Astakhov V.V., Vadivasova T.E., Neyman A.B., Strelkova G.I. Nelineynye efekty v khaoticheskikh i stokhasticheskikh sistemakh [Nonlinear effects in chaotic and stochastic systems]. Moscow-Izhevsk: Institut komp'yuternykh issledovaniy, 2003, 544 p.
14. Takens F. Detecting Strange Attractors in Turbulence, in Dynamical Systems and Turbulence: Lecture Notes in Mathematics, Vol. 898 [ed. by D. Rang and L.S. Young]. Springer, Berlin, Heidelberg, 1980, 366 p.
15. Bezruchko B.P., Smirnov D.A. Matematicheskoe modelirovanie i khaoticheskie vremennye ryady [Mathematical modeling and chaotic time series]. Saratov: GosUNTs «Kolledzh», 2005, 320 p.
16. Malinetskiy G.G., Potapov A.B. Sovremennyye problemy nelineynoy dinamiki [Modern problems of nonlinear dynamics]. 2nd ed. Moscow: Editorial URSS, 2002, 360 p.
17. Fonem [The phoneme]. Available at: <http://ru.wikipedia.org/wiki/Fonema> (accessed: 15 October 2015).
18. Bortovye informatsionnye sistemy: kurs lektsiy [On-Board information systems: lectures]. Available at: <http://window.edu.ru/catalog/pdf2txt/082/59082/29039> (accessed: 15 October 2015).
19. Kopytov V.V., Yakushev D.V. Metody kodirovaniya rechevykh signalov s pomoshch'yu rekonstruirovannoy modeli rechevogo protsessa [Methods of coding of speech signals with the help of the reconstructed model of speech process], *Izvestiya YuFU. Tekhnicheskie nauki* [Izvestiya SFedU. Engineering Sciences], 2013, No. 1 (138), pp. 37-44.

Статью рекомендовал к опубликованию д.т.н., профессор В.В. Копытов.

Иванов Илья Игоревич – Институт информационных технологий и телекоммуникаций Северо-Кавказского федерального университета, г. Ставрополь; e-mail: lollol@bk.ru, 267701@mail.ru; 355026, г. Ставрополь, ул. Пригородная, 235/1, кв. 29; тел.: +79187570745; кафедра организации и технологии защиты информации; аспирант.

Ivanov Ilya Igorevich – Institute of Information Technologies and Telecommunications, North-Caucasus Federal University, Stavropol; e-mail: lollol@bk.ru, 267701@mail.ru; 235/1, Prigorodnaya street, kv. 29, Stavropol, 355026, Russia; phone: +79187570745; the department of Information Security of Automated Systems; postgraduate student.

УДК 004.056: 004.73

Е.С. Абрамов, Е.С. Басан, А.С. Басан

РАЗРАБОТКА СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ УРОВНЕМ ДОВЕРИЯ В МОБИЛЬНОЙ КЛАСТЕРНОЙ БЕСПРОВОДНОЙ СЕНСОРНОЙ СЕТИ*

Проблема обеспечения безопасности беспроводных сенсорных сетей (БСС) активно исследуется как за рубежом, так и в России. В данной статье представлены результаты разработки системы управления уровнем доверия (СУУД). Работа системы основана на сборе информации о соседних узлах и обмене данными соседних узлов между собой, и вычисления значений доверия на основе полученных наборов признаков. СУУД позволяет справиться с угрозами исходящими от внутреннего злоумышленника сети и с угрозой компрометации узла, обнаружить и изолировать аномальный узел. Основной целью создания системы управления доверием является защита БСС от вредоносных действий злоумышленника. Разработанная система сочетает в себе свойства энергетической эффективности и надежности. Основными свойствами системы управления доверием являются: обнаружение неправомерных действий злоумышленника; блокирование вредоносных узлов; предотвращение реализации атаки злоумышленником; определение подлинных узлов; установление доверенных соединений между подлинными узлами; определение неисправных узлов и блокирование их работы. СУУД позволяет не только устанавливать доверенные отношения между узлами-сенсорами, но обнаруживать и блокировать вторжения со стороны злоумышленника. Обнаружение вторжений возможно за счет анализа количества и качества трафика и сравнение этого показателя с уровнем остаточной энергии узла. Таким образом, если злоумышленник проводит активную атаку, к примеру, производит задержку пакетов, то система сможет его вычислить и предпринять дейст-

* Работа выполнена при поддержке гранта РФФИ № 14-37-50914.