

ИНФОКОММУНИКАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ INFOCOMMUNICATION TECHNOLOGIES

УДК 004.934:681.391

DOI 10.52575/2687-0932-2022-49-3-589-596

Субполосная идентификация словных фрагментов речевых сигналов по заданному образцу

¹ Белов С.П., ¹ Белов А.С., ² Прохоренко Е.И., ² Балабанова Т.Н.

¹ Белгородский университет кооперации, экономики и права,
Россия, 308023, Белгород, ул. Садовая, 116а

² Белгородский государственный национальный исследовательский университет,
Россия, 308015, г. Белгород, ул. Победы, 85

E-mail: belovssergei@gmail.com, belov_as@bsu.edu.ru, prokhorenko@bsu.edu.ru, sozonova@bsu.edu.ru

Аннотация. В статье рассматривается проблема выделения в записях речевых сигналов фрагментов, порождаемых при произнесении некоторой словоформы, представляющей интерес с позиции решаемой прикладной задачи анализа содержания речевого информационного обмена. При этом предполагается, что изначально класс искомой словоформы задается фрагментом, имеющимся в реальной записи речевого сигнала. Поэтому рассматриваемую проблему естественно именовать прецедентной идентификацией. Актуальность разработки методов и алгоритмов автоматической прецедентной идентификации фрагментов записей речевых сигналов в такой постановке определяется широтой их возможных применений, например, в информационно-аналитических системах безопасности. Основными факторами, определяющими сложность решения указанной проблемы, являются изменчивость свойств фрагментов речевых сигналов, даже порождаемых при произнесении одной и той же словоформы одним и тем же человеком, и необходимостью обучения по одному прецеденту при определении критических областей решающих функций. В данной работе показано, что адекватной основой решения рассматриваемой проблемы является субполосный анализ и разработан оригинальный математический аппарат для его реализации. На основе оригинальных субполосных представлений разработаны решающие процедуры идентификации фрагментов записей речевых сигналов, включая селекцию пауз между словными фрагментами. В частности, предложены процедуры обучения по одному прецеденту с сохранением его исходных субполосных свойств.

Ключевые слова: речевой сигнал, словоформа, прецедентная идентификация, субполосный анализ

Благодарности: исследования выполнены при поддержке гранта РФФИ № 20-07-00215 а.

Для цитирования: Белов С.П., Белов А.С., Прохоренко Е.И., Балабанова Т.Н. 2022. Субполосная идентификация словных фрагментов речевых сигналов по заданному образцу. Экономика. Информатика, 49(3): 589–596. DOI 10.52575/2687-0932-2022-49-3-589-596

Subband Identification of Word Fragments of Speech Signal Word Segments Precedent

¹ Sergey P. Belov, ¹ Alexander S. Belov, ² Ekaterina I. Prokhorenko, ² Tatiana N. Balabanova

¹Belgorod University of Cooperation, Economics and Law, 116a Sadovaya St, Belgorod, 308023, Russia,

²Belgorod National Research University, 85 Pobedy St, Belgorod, 308015, Russia

E-mail: belovssergei@gmail.com, belov_as@bsu.edu.ru, prokhorenko@bsu.edu.ru, sozonova@bsu.edu.ru

Abstract. The article deals with the problem of extracting in the records of speech signals fragments generated during the pronunciation of a certain word form, which is of interest from the standpoint of the applied problem of



analyzing the content of speech information exchange. In this case, it is assumed that initially the class of the desired word form is given by the fragment present in the actual recording of the speech signal. Therefore, the problem under consideration, naturally, is called precedent identification. The relevance of developing methods and algorithms for automatic precedent identification of fragments of speech signal recordings in such a formulation is determined by the breadth of their possible applications, for example, in information and analytical security systems. The main factors that determine the complexity of solving this problem are the variability of the properties of fragments of speech signals, even generated when the same word form is pronounced by the same person, and the need to learn from one precedent when determining critical areas of decisive functions. In this paper, it is shown that subband analysis is an adequate basis for solving the problem under consideration and an original mathematical apparatus for its implementation has been developed. Based on the original subband representations, decision procedures for identifying fragments of speech signal recordings, including the selection of pauses between word fragments, have been developed. In particular, training procedures are proposed for one precedent with the preservation of its original subband properties.

Keywords: speech signal, word form, case identification, subband analysis

Acknowledgments: The research was supported by RFBR grant No. 20-07-00215 a.

For citation: Belov S.P., Belov A.S., Prokhorenko E.I., Balabanova T.N. 2022. Subband Identification of Word Fragments of Speech Signal Word Segments Precedent. Economics. Information technologies, 49(3): 589–596. DOI 10.52575/2687-0932-2022-49-3-589-596

Введение

Устная речь для человека является одной из наиболее естественных форм информационного обмена. Поэтому достаточно интенсивно, на протяжении многих лет, проводятся различного вида исследования по изучению особенностей элементов устной речи и ее воздействия на слуховую систему человека [Stevens, Volkman, Newman, 1936; Цвигер, Фельдкеллер, 1971; Молчанов, Бабкина, 1978; Альтман, 1990; Алдошина, 1999, 2002]. Реакция слуховой системы человека на такого рода воздействия тесно сопряжена с мозговой деятельностью (интеллектуальная часть слуховой системы человека). В связи с этим область исследования возникающих эффектов принято именовать психоакустикой и её развитию посвящено большое количество работ [Манфред, Шрёдер, 1975; Гельфанд, 1984; Жилияков и др., 2020; Жилияков и др., 2020a]. Среди них важное место занимают технологии автоматического распознавания устной речи [Рабинер, Шафер, 1981; Шелухин, Лукьянцев, 2000; Аграновский, Леднов, 2004; Ниценко, Шелепов, 2004; Герасимов, Морозов, Фидельман, 2005; Кипяткова, Ронжин, Карпов, 2013]. При этом осуществляется анализ отсчетов речевых сигналов, которые в цифровой форме регистрируются на выходах микрофонов. В данной работе рассматривается направление обнаружения в записях отсчетов речевых сигналов фрагментов, порождаемых при произнесении отдельных словоформ, которые представляют интерес с позиций приложений. В частности, такие ситуации возникают в информационно-аналитических системах безопасности. При этом предполагается, что на наличие ключевых слов проверяются записи речевых сигналов, которые осуществляются в течение некоторого достаточно значительного времени. Отрезки записей отсчетов речевых сигналов, которые осуществляются при произнесении отдельных словоформ, в рамках работы называются словными фрагментами.

Уточним формулировку задачи. Пусть известно, что вектор отсчетов речевого сигнала

$$\vec{x} = (x_1, \dots, x_N)', \quad (1)$$

где штрих означает транспонирование;

$$x_k = x((M + k)\Delta t), k = 1, \dots, N, \quad (2)$$

зарегистрирован при произнесении заданной словоформы.

Здесь символом M обозначено некоторое начало записи словного фрагмента, размерность вектора определяется его длительностью, а Δt – эквидистантная дискретизация с шагом

$$\Delta t = 1/v_d, \quad (3)$$

где v_d – частота дискретизации.

Необходимо в остальной записи речевого диалога обнаружить другие словные фрагменты, которые зарегистрированы при произнесении аналогичных словоформ.

Имея в виду, что образованные в другие моменты времени словные фрагменты речевого сигнала не являются четкой копией исходного вектора (1), поэтому описанную процедуру естественно называть идентификацией (отождествлением). Отметим, что в определенном смысле этот термин является синонимом понятия распознавание.

В соответствии с методологиями речь идет о проверке справедливости следующей начальной (нулевой) гипотезы:

H_0 – анализируемый словный фрагмент идентичен исходному (зарегистрирован под воздействием заданной словоформы).

Очевидно, что альтернативная гипотеза должна иметь вид

H_1 – сравниваемые словные фрагменты речевых сигналов неидентичны.

В основе автоматической идентификации используется некоторая решающая функция, определяющая вычислительную процедуру обработки эмпирических данных. При этом предполагается наличие так называемой критической области значений решающей функции, которые принимаются за свидетельство несоответствия исходной гипотезы эмпирическим данным. Таким образом, необходимо разработать меру близости сравниваемых словных фрагментов и провести обучение для определения критической области.

Важно отметить, что в рамках сформулированной задачи для обучения можно использовать только один прецедент в виде выделенного словного фрагмента. Поэтому необходимо прибегать к моделированию обучающей выборки. Адекватность такого моделирования определяется в том числе свойствами меры близости. В рамках данной работы предлагается применять меры близости, мало реагирующие (инвариантные) к характеристикам голосов, произносящих словоформу-прецедент.

Другой существенный момент заключается в отличиях фрагментов речевых сигналов, порождаемых одними и теми же словоформами, среди которых прежде всего следует отметить различия в длительностях интервалов времени их звучания и изменениями в характеристиках голоса в течение диалога, например, в энергетических характеристиках. Таким образом, необходимо обеспечить инвариантность характеристик меры близости и к такого рода нестационарностям словных фрагментов.

Основная часть Основы субполосного анализа

Эффективность решающих процедур в основном определяется степенью адекватности отражения свойств анализируемых фрагментов с позиций реакции меры их близости на отличия в характеристиках. В случае речевых сигналов предлагается использовать различия в распределении энергий в частотной области. Концентрация энергий звуков речи, которые порождают речевые сигналы, в малых долях областей определений трансформант Фурье, является мотивом для использования субполосного анализа на основе использования понятия части энергии, попадающей в заданную субполосу. Имея в виду разбиение области определения

$$z \in [-\pi, \pi) \quad (4)$$

трансформанты Фурье (спектра) фрагмента (1)

$$X(z) = \sum_{k=1}^N x_k \exp(-jz(k-1)) \quad (5)$$

на примыкающие субполосы

$$V_r = [-V_{2r}, -V_{1r}) \cup [V_{1r}, V_{2r}), r = 1, \dots, R, \quad (6)$$

указанные части энергии определяет с помощью соотношения



$$P_r(\vec{x}) = \int_{z \in V_r} |X(z)|^2 dz / 2\pi. \quad (7)$$

При этом предполагается выполнение условий покрытия области определения трансформант Фурье субполосами одинаковой ширины

$$\Delta z = V_{2r} - V_{1r} = \pi / R, \quad (8)$$

$$V_{11} = 0, V_{2R} = \pi. \quad (9)$$

Подстановка определения (5) в (7) дает представление

$$P_r(\vec{x}) = \vec{x}' A_r \vec{x}, \quad (10)$$

так что математической основой дальнейших построений являются субполосные матрицы

$$A_r = \{a_{ik}^r\}, i, k = 1, \dots, N \quad (11)$$

с элементами

$$a_{ik}^r = (\sin(V_{2r}(i-k)) - \sin(V_{1r}(i-k))) / \pi(i-k), a_{ii}^r = \Delta z / \pi. \quad (12)$$

При сравнениях фрагментов предлагается учитывать только субполосы, которые в случае

$$P_r(\vec{x}) \geq \|\vec{x}\|^2 \Delta z / \pi, \quad (13)$$

где $\|\vec{x}\|^2 = \sum_{k=1}^N x_k^2$. Их можно именовать информационными.

Субполосная решающая функция

В качестве субполосной меры близости предлагается использовать квадратичную форму (предполагается, что векторы имеют одинаковую размерность)

$$F_G(\vec{x}, \vec{y}) = \vec{u}' A_G \vec{u}, \quad (14)$$

где

$$\vec{u} = (P_G(\vec{y}))^{1/2} \vec{x} - (P_G(\vec{x}))^{1/2} \vec{y}; \quad (15)$$

$$A_G = \sum_{r \in G(\vec{x})} A_r; \quad (16)$$

$$P_G(\vec{x}) = \vec{x}' A_G \vec{x}; \quad (17)$$

$G(\vec{x})$ – множество индексов субполос, удовлетворяющих неравенству (13).

Отметим, что форма (14) инвариантна к изменениям усиления или ослаблений интенсивностей голоса. Её можно именовать субполосной мерой подобия сравниваемых фрагментов. Ясно, что фрагменты надо выравнивать по количеству отсчетов, например, добавляя нулевые значения.

Очевидно, что для значений меры (14) справедливо неравенство

$$0 \leq F(\vec{x}, \vec{y}) \leq 2, \quad (18)$$

причем левая граница достигается, когда отрезки трансформант Фурье в пределах совокупности информационных субполос

$$z \in B(\vec{x}), B(\vec{x}) = \cup_{r \in G(\vec{x})} V_r, \quad (19)$$

совпадают с точностью до положительного множителя

$$Y(z) = b \cdot X(z), b > 0, \quad (20)$$

а правая граница достигается, когда этот множитель отрицателен

$$b < 0. \quad (21)$$

Именно это свойство позволяет построить критическую область ограниченных размеров вида

$$D_F = \{0 \leq F_G > h_\alpha\}, \quad (22)$$

верхняя граница которой соответствует априорной вероятности ошибок первого рода

$$Ver(F_G > h_\alpha) \leq \alpha. \quad (23)$$

Естественным приемом определения этой границы является обучение на выборке фрагментов, порожденных одной и той же словоформой. В рассматриваемом случае имеется только один фрагмент-прецедент, что приводит к необходимости использовать искусственное размножение идентичных объектов (аугментации).

Субполосная аугментация фрагмента-прецедента

Непосредственно из определения (7) и соотношения (12) следует, что ввиду симметричности и положительной определенности матрица (16) представима в виде

$$A_G = Q_G L_G Q_G', \quad (24)$$

где $Q_G = (\vec{q}_1^G \dots \vec{q}_N^G)$ – ортогональная матрица собственных векторов

$$A_G Q_G = Q_G L_G, Q_G Q_G' = Q_G' Q_G = \text{diag}(1, \dots, 1); \quad (25)$$

L_G – диагональная матрица положительных собственных чисел, упорядоченных по убыванию

$$L_G = \text{diag}(\lambda_1^G, \dots, \lambda_N^G), \quad (25)$$

$$\lambda_1^G \geq \lambda_2^G \geq \dots \geq \lambda_N^G \geq 0. \quad (26)$$

В работе [Жиляков, 2015] доказана справедливость соотношения

$$1 \geq \lambda_k^G = \int_{z \in B(\bar{x})} |W_k^G(z)|^2 dz / 2\pi, \quad (27)$$

где W_k^G – трансформанта Фурье соответствующего собственного вектора.

При этом с достаточной степенью точности выполняются равенства

$$\lambda_k^G = 0, \quad J_G < k \leq N, \quad (28)$$

когда (с учетом (8))

$$J_G = 2[MN/2R] + 4, \quad (29)$$

квадратная скобка означает целую часть числа, а M – количество слагаемых в сумме (16).

Поэтому положив

$$Q1_G = (\vec{q}_1^G \dots \vec{q}_{J_G}^G), \quad (30)$$

нетрудно показать, что вектор

$$\vec{s}_G = Q1_G Q1_G' \bar{x} \quad (31)$$

удовлетворяет равенству

$$F_G(\bar{x}, \vec{s}_G) = 0, \quad (32)$$

то есть в указанном смысле идентичен исходному.

Поэтому в процессе аугментации предлагается формировать следующую обучающую последовательность векторов

$$\vec{x}_k = \vec{s}_G + d_k \vec{v}_k, \quad k = 1, \dots, K, \quad (33)$$

где $\vec{v}_k = (v_{1k}, \dots, v_{Nk})'$ – нормированный вектор

$$\|\vec{v}_k\|^2 = 1, \quad (34)$$

состоящий из гауссовских псевдослучайных чисел с нулевым средним; множитель d_k обеспечивает равенство евклидовых норм с исходным вектором

$$\|\vec{x}_k\|^2 = \|\bar{x}\|^2. \quad (35)$$

Его значение определяется соответствующим квадратным уравнением, любое из решений которого можно использовать, например

$$d_k = ((\vec{s}_G, \vec{v}_k)^2 + \|\bar{x}\|^2 - \|\vec{s}_G\|^2)^{1/2} - (\vec{s}_G, \vec{v}_k), \quad (36)$$

где символ (\cdot) означает скалярное произведение векторов в евклидовом пространстве.

Количество генерируемых векторов определяется желаемой вероятностью ошибок первого

$$K = 1/[\alpha] + 1. \quad (37)$$

Тогда для границы критической области справедливо соотношение

$$h_{\alpha} = \max F_G(\vec{x}, \vec{v}_k), 1 \leq k \leq [1/\alpha] + 1. \quad (38)$$

Заключение

В работе сформулирована актуальная задача обнаружения в записях речевых сигналов словных фрагментов, обусловленных произнесением одной и той же словоформы (прецедент), которая заранее определяется. Проведен анализ особенностей её решения и обоснован подход к решению на основе разбиения областей определения трансформант Фурье на субполосы. Построены субполосные решающие функции и разработана процедура обучения с использованием субполосной аугментации исходного фрагмента – прецедента речевого сигнала.

Список литературы

- Аграновский А.В., Леднов Д.А. 2004. Теоретические аспекты алгоритмов обработки и классификации речевых сигналов. М., Радио и связь: 164.
- Алдошина И. 1999. Основы психоакустики. Часть 1. Информационно-технический журнал «Звукорежиссер». 6: 1–14.
- Алдошина И. 2002. Основы психоакустики. Слух и речь. Часть 1. Информационно-технический журнал «Звукорежиссер». 1: 38–44.
- Алдошина И. 2002а. Основы психоакустики. Слух и речь. Часть 2. Информационно-технический журнал «Звукорежиссер». 3: 54–58.
- Алдошина, И. 2002б. Основы психоакустики. Слух и речь. Часть 3. Информационно-технический журнал «Звукорежиссер». 4: 38–44.
- Альтман Я.А. 1990. Слуховая система. Ленинград: Наука, 620 с.
- Гантмахер Ф.Р. 1967. Теория матриц. М., Наука: 575.
- Гельфанд С.А. 1984. Слух: введение в психол. И физиол. Акустику. пер. с англ. О.К. Федоровой, О.П. Токарева. М.: Медицина, 350 с.
- Герасимов А.В., Морозов О.А., Фидельман В.Р. 2005. Применение метода модифицированного линейного предсказания к задачам выделения акустических признаков речевых сигналов. Москва: Радиотехника и Электроника. 1287–1292.
- Жиляков Е.Г. 2015. Оптимальные субполосные методы анализа и синтеза сигналов конечной длительности. Москва: Автоматика и телемеханика. 51–66.
- Жиляков Е.Г., Белов С.П., Белов А.С., Медведева А.А. 2020. Модель взаимосвязи координат максимумов огибающих, бегущих вдоль базилярной мембраны волн с частотами их возбуждения. Информационные системы и технологии. 4: 5–10
- Жиляков Е.Г., Белов С.П., Белов А.С., Медведева А.А. 2020а. О Скорости распространения возмущений вдоль базилярной мембраны слуховой системы человека. Инфокоммуникационные технологии. 18(2): 188–194.
- Кипяткова И.С., Ронжин А.Л., Карпов А.А. 2013. Автоматическая обработка разговорной русской речи: монография. СПб.: ГУАП: 314.
- Манфред Р., Шрёдер. 1975. Модели слуха. Proceedings of the IEEE. 63(9): 1332–1350.
- Молчанов А.П., Бабкина Л.Н. 1978. Электрические модели улитки органа слуха. Ленинград: Наука, 181 с.
- Ниценко А.В., Шелепов В.Ю. 2004. Алгоритмы пофонемного распознавания слов наперед заданного словаря. Донецк: Искусственный интеллект. 633–639.
- Рабинер Л.Р., Шафер Р.Ф. 1981. Цифровая обработка речевых сигналов. М., Радио и связь: 496.
- Хорн Р., Джонсон Ч. 1989. Матричный анализ. М.: Мир, 655 с.
- Цвикер Э., Фельдкеллер Р. 1971. Ухо как приемник информации. под редакцией Б.Г. Белкина; пер. с нем. М., Связь, 255 с.
- Шелухин О.И., Лукьянцев Н.Ф. 2000. Цифровая обработка и передача речи. М., Радио и связь: 256.
- Stevens S.S., Volkman J., Newman E.B. 1936. A Scale for the Measurement of the Psychological Magnitude Pitch. The Journal of the Acoustical Society of America. 8(3), 10.1121/1.1915893.

References

- Agranovsky A.V., Lednov D.A. 2004. Teoreticheskie aspekty algoritmov obrabotki i klassifikacii rechevyh signalov [Theoretical aspects of algorithms for processing and classifying speech signals] M., Radio and communication: 164.
- Aldoshina I. 1999. Osnovy psihoakustiki. CHast' 1 [Fundamentals of psychoacoustics. Part 1] Information and technical magazine "Sound engineer". 6. 1–14.
- Aldoshina I. 2002. Osnovy psihoakustiki. Sluh i rech'. CHast' 1 [Fundamentals of psychoacoustics. Hearing and speech. Part 1] Information and technical magazine "Sound engineer". 1: 38–44.
- Aldoshina I. 2002a. Osnovy psihoakustiki. Sluh i rech'. CHast' 2 [Fundamentals of psychoacoustics. Hearing and speech. Part 2] Information and technical magazine "Sound engineer". 3: 54–58.
- Aldoshina I. 2002b. Osnovy psihoakustiki. Sluh i rech'. CHast' 3 [Fundamentals of psychoacoustics. Hearing and speech. Part 3] Information and technical magazine "Sound engineer". 4: 38–44.
- Altman Ya. A. 1990. Sluhovaya sistema [Auditory system]. Leningrad, Nauka, 620.
- Gantmakher F.R. 1967. Teoriya matric. [Matrix theory]. M., Nauka: 575.
- Gelfand S. A. 1984. Sluh : vvedenie v psihol. I fiziol. Akustiku [Rumor: an introduction to psychol. And physiol. Acoustics] / trans. from English. O.K. Fedorova, O.P. Tokareva. M.: Medicine, 350.
- Gerasimov A.V., Morozov O.A., Fidelman V.R. 2005. Primenenie metoda modifitsirovannogo linejnogo predskazaniya k zadacham vydeleniya akusticheskikh priznakov rechevyh signalov [Application of the modified linear prediction method to the problems of extracting acoustic features of speech signals]. Moscow: Radio Engineering and Electronics. 1287–1292.
- Zhilyakov E.G. 2015. Optimal subband methods for analysis and synthesis of finite duration signals. M., Automation and telemechanics. 51–66 (in Russian).
- Zhilyakov E.G., Belov S.P., Belov A.S., Medvedeva A.A. 2020. Model' vzaimosvyazi koordinat maksimumov ogibayushchih begushchih vdol' bazilyarnoj membrany voln s chastotami ih vzbuzhdeniya [Model of the relationship between the coordinates of the maxima of the envelopes of waves traveling along the basilar membrane with the frequencies of their excitation] Information systems and technologies. 4. 5–10.
- Zhilyakov E.G., Belov S.P., Belov A.S., Medvedeva A.A. 2020a. Skorosti rasprostraneniya vozmushchenij vdol' bazilyarnoj membrany sluhovoj sistemy cheloveka [On the Speed of Disturbances Propagation along the Basilar Membrane of the Human Auditory System] Infocommunication Technologies. 18(2): 188–194.
- Kipyatkova I.S., Ronzhin A.L., Karpov A.A. 2013. Avtomaticheskaya obrabotka razgovornoj russkoj rechi [Automatic processing of colloquial Russian speech] monograph. St. Petersburg: GUAP: 314.
- Manfred R. Schroeder 1975. Modeli sluha [Hearing Models] Proceedings of the IEEE. 63(9): 1332–1350.
- Molchanov A.P., Babkina L.N. 1978. Elektricheskie modeli ulitki organa sluha [Electric models of the cochlea of the organ of hearing]. Leningrad: Nauka, 181.
- Nitsenko A.V., Shelepov V.Yu. 2004. Algoritmy pofonemnogo raspoznavaniya slov napered zadannogo slovarya [Algorithms for phonemic recognition of words in a predetermined dictionary]. Donetsk: Artificial Intelligence. 633–639.
- Rabiner L.R., Shafer R.F. 1981. Cifrovaya obrabotka rechevyh signalov [Digital processing of speech signals]. M., Radio and communication: 496.
- Horn R., Johnson C. 1989. Matrichnyj analiz [Matrix analysis]. M.: Mir, 655.
- Zviker E., Feldkeller R. 1971. Uho kak priemnik informacii [Ear as an information receiver] M.: Communication, 255.
- Shelukhin O.I., Lukyantsev N.F. 2000. Cifrovaya obrabotka i peredacha rechi [Digital processing and transmission of speech]. M., Radio and communication: 256.
- Stevens S.S., Volkman J., Newman E.B. 1936. A Scale for the Measurement of the Psychological Magnitude Pitch. The Journal of the Acoustical Society of America. 8(3), 10.1121/1.1915893.

Конфликт интересов: о потенциальном конфликте интересов не сообщалось.

Conflict of interest: no potential conflict of interest related to this article was reported.



ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Белов Сергей Павлович, доктор технических наук, профессор, профессор кафедры информационной безопасности, Белгородский университет кооперации, экономики и права, г. Белгород, Россия

Sergey P. Belov, Professor of the Department of Information Security, Doctor of Technical Sciences, Professor, Belgorod University of Cooperation, Economics and Law, Belgorod, Russia

Белов Александр Сергеевич, кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры информационной безопасности, Белгородский университет кооперации, экономики и права, г. Белгород, Россия

Alexander S. Belov, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Associate Professor of the Department of Information Security, Belgorod University of Cooperation, Economics and Law, Belgorod, Russia

Прохоренко Екатерина Ивановна, кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры информационно-телекоммуникационных систем и технологий, Белгородский государственный национальный исследовательский университет, г. Белгород, Россия

Ekaterina I. Prokhorenko, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Associate Professor of the Department of Information and Telecommunication Systems and Technologies, Belgorod National Research University, Belgorod, Russia

Балабанова Татьяна Николаевна, доцент кафедры информационно-телекоммуникационных систем и технологий, кандидат технических наук, доцент Белгородский государственный национальный исследовательский университет, г. Белгород, Россия

Tatiana N. Balabanova, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Associate Professor of the Department of Information and Telecommunication Systems and Technologies, Belgorod National Research University, Belgorod, Russia