

УДК 004.93

DOI: 10.18413/2518-1092-2023-8-3-0-2

Урсол Д.В.¹
Тихонский Н.А.²
Черноморец Д.А.²
Болгова Е.В.²
Черноморец А.А.²

**О ПРИМЕНЕНИИ ИНФОРМАТИВНОГО
ЧАСТОТНОГО ПОРТРЕТА ПРИ ЛОКАЛИЗАЦИИ ОТРЕЗКОВ
ЭМПИРИЧЕСКИХ ДАННЫХ**

¹⁾ ООО «Промышленные электронные системы», ул. Михайловское шоссе 121а, г. Белгород, 308000, Россия

²⁾ Белгородский государственный национальный исследовательский университет,
ул. победы, 85, Белгород, 308015, Россия

e-mail: chernomorets@bsu.edu.ru

Аннотация

Задача локализации (определения местоположения) в зарегистрированном числовом ряде заданного ряда меньшей размерности зачастую возникает при обработке эмпирических данных различной природы. В данной работе разработан алгоритм локализации отрезков эмпирических данных, которые представлены числовыми рядами. Разработанный алгоритм основан на вычислении меры сходства признаков анализируемых числовых рядов. В качестве множества признаков, характеризующих числовой ряд, предложено применять информативный частотный портрет отрезка числовых данных, для вычисления которого в работе приведены соответствующие соотношения на основе дискретного косинус-преобразования. В работе приведены примеры вычисления информативного частотного портрета для различных числовых рядов (прецедентов). Приведенные в работе результаты вычислительных экспериментов демонстрируют работоспособность разработанного алгоритма по оцениванию локализации отрезков числовых рядов на основе применения информативного частотного портрета при дискретном косинус-преобразовании.

Ключевые слова: числовой ряд; прецедент; локализация; дискретное косинус-преобразование; информативный частотный портрет; погрешность локализации

Для цитирования: Урсол Д.В., Тихонский Н.А., Черноморец Д.А., Болгова Е.В., Черноморец А.А. О применении информативного частотного портрета при локализации отрезков эмпирических данных // Научный результат. Информационные технологии. – Т.8, №3, 2023. – С. 11-18. DOI: 10.18413/2518-1092-2023-8-3-0-2

Ursol D.V.¹
Tikhonsky N.A.²
Chernomorets D.A.²
Bolgova E.V.²
Chernomorets A.A.²

**ON THE INFORMATIVE FREQUENCY
PORTRAIT APPLICATION FOR THE EMPIRICAL DATA
SEGMENTS LOCALIZATION**

¹⁾ Industrial Electronic Systems LLC, 121a Mikhailovskoe shosse, Belgorod, 308000, Russia

²⁾ Belgorod State National Research University, 85 Pobedy St., Belgorod, 308015, Russia

e-mail: chernomorets@bsu.edu.ru

Abstract

The problem of localization (location determination) in a registered numerical series of a given series of smaller dimensions often arises when processing empirical data of various nature. In this paper, an algorithm for the empirical data segments localization, which are represented by numerical series, is developed. The developed algorithm is based on the calculation of the similarity measure of the analyzed numerical series features. As a set of features characterizing a numerical series, it is proposed to use an informative frequency portrait of a segment of numerical data, for the calculation of which the corresponding relations based on a discrete cosine transformation are given in the work. The paper provides examples of calculating an informative frequency portrait

for various numerical series (precedents). The results of computational experiments presented in this paper demonstrate the operability of the developed algorithm for estimating the localization of segments of numerical series based on the use of an informative frequency portrait with discrete cosine transformation.

Keywords: numerical series; precedent; localization; discrete cosine transform; informative frequency portrait; localization error

For citation: Ursol D.V., Tikhonsky N.A., Chernomorets D.A., Bolgova E.V., Chernomorets A.A. On the informative frequency portrait application for the empirical data segments localization // Research result. Information technologies. – Т. 8, №3, 2023. – P. 11-18. DOI: 10.18413/2518-1092-2023-8-3-0-2

ВВЕДЕНИЕ

При обработке эмпирических данных зачастую возникает необходимость локализации (определения местоположения) в зарегистрированном числовом ряде заданного ряда меньшей размерности. Данные задачи возникают, например, при обработке звукозаписей с целью обнаружения в них отдельных звуков, при обработке радиолокационных сигналов и др. [1-8]. В настоящее время известно значительное количество методов решения данных задач, в которых анализируются отрезки некоторого числового ряда на соответствие эталонному числовому ряду. В большинстве случаев данные методы основаны на вычислении меры сходства множеств различных признаков, соответствующих анализируемому числовым рядам. В данной работе в качестве множества признаков, характеризующих числовой ряд, предлагается применять так называемый информативный частотный портрет отрезка числовых данных.

Эмпирические (зарегистрированные) данные во многих случаях представляют собой ряд вещественных чисел, при обработке которых целесообразно применять вещественные преобразования, такие как дискретное косинус-преобразование (ДКП), дискретное синус-преобразование, преобразование Уолша-Адамара, преобразование Хаара и др., в отличие от широко применяемого комплексного дискретного преобразования Фурье сигналов различной природы [9-20]. В данной работе для решения задачи построения информативного частотного портрета отрезка вещественного числового ряда предлагается применять дискретное косинус-преобразование, для которого известны алгоритмы быстрого преобразования.

ОСНОВНАЯ ЧАСТЬ

Рассмотрим алгоритм построения информативного частотного портрета отрезка числовых данных на основе дискретного косинус-преобразования.

Обозначим, $F = \{f_n\}$, $n = 1, 2, \dots, N$, – числовой ряд, содержащий N элементов. Коэффициенты $D = \{d_k^F\}$, $k = 1, 2, \dots, N$, ДКП данного ряда вычисляются на основании следующего соотношения:

$$d_k^F = \sqrt{2/N} \sum_{n=1}^N f_n \cos\left(\frac{\pi}{N}(n-1)\left(k - \frac{1}{2}\right)\right), k = 1, 2, \dots, N \quad (1)$$

С целью снижения размерности анализируемых данных предлагается применить так называемое субполосное представление результатов ДКП. Обозначим, M – заданное количество субполос ДКП. Тогда, количество J коэффициентов ДКП, соответствующих отдельной субполосе, определяется следующим образом:

$$J = [N/M], \quad (2)$$

где $[]$ – операция вычисления целой части числа.

Элементы субполосного представления ДКП $S^F = \{s_m^F\}$, $m = 1, 2, \dots, M$, определим следующим образом:

$$s_m^F = \sum_{j=1}^J (d_{(m-1)J+j}^F)^2, m = 1, 2, \dots, M \quad (3)$$

Частотным портретом числового ряда $F \{f_n\}$, $n=1,2,\dots,N$, назовем вектор $G^{*F} = \{g_m^{*F}\}$, $m=1,2,\dots,M$, элементы которого имеют вид:

$$g_m^{*F} = s_m^F / \sum_{i=1}^M s_i^F, \quad m=1,2,\dots,M. \quad (4)$$

Информативным частотным портретом (ИЧП) числового ряда $F \{f_n\}$, $n=1,2,\dots,N$, назовем вектор $G^F = \{g_m^F\}$, $m=1,2,\dots,M$, элементы которого имеют вид:

$$g_m^F = \begin{cases} g_m^{*F}, & \text{если } g_m^{*F} > 1/M, \\ 0, & \text{в противном случае.} \end{cases}, \quad m=1,2,\dots,M. \quad (5)$$

На рисунке 1 приведен пример вычисления ИЧП для числового ряда F_1 , размерности 512 элементов, значения которого в виде графика представлены на рисунке 1а. На рисунке 1 также приведены результаты вычисления коэффициентов ДКП D^{F_1} , а также частотный портрет G^{*F_1} и информативный частотный портрет G^{F_1} , содержащие 32 элемента (на основании соотношений (1)-(5)).

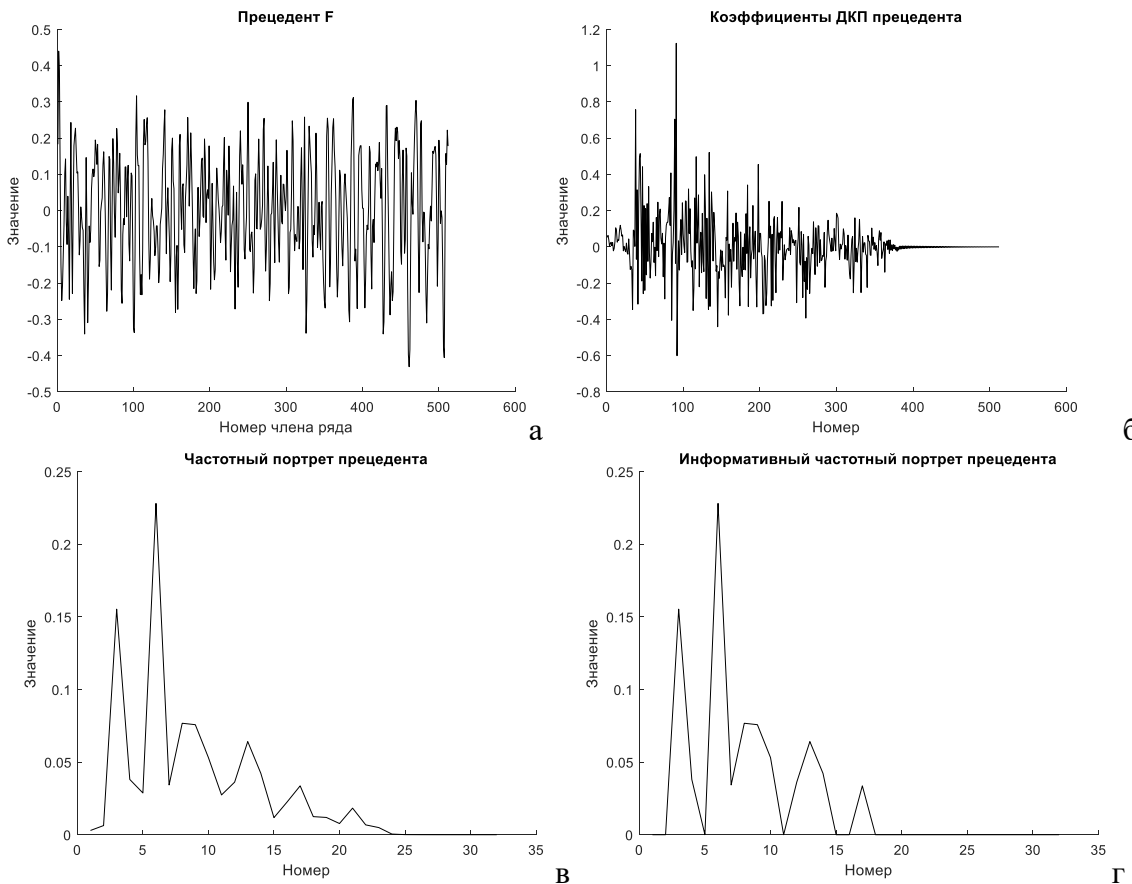


Рис. 1. Пример вычисления информативного частотного портрета:

а – числовой ряд F_1 , б – коэффициенты ДКП D^{F_1} ,

в – частотный портрет G^{*F_1} , г – информативный частотный портрет G^{F_1}

Fig. 1. An example of calculating an informative frequency portrait:

a – numerical series F_1 , b – DCT coefficients D^{F_1} ,

c – frequency portrait G^{*F_1} , d – informative frequency portrait G^{F_1}

Для оценивания местоположения (локализации) заданного прецидента F в числовом ряде W разработан следующий алгоритм.

Исходные данные:

N – размерность прецедента F ,

$F = \{f_n\}, n = 1, 2, \dots, N$, – прецедент (числовой ряд),

M – размерность информативного частотного портрета,

$G^F = \{g_m^F\}, m = 1, 2, \dots, M$, – информативный частотный портрет,

L – размерность числового ряда, в котором необходимо определить местоположение прецедента,

$W = \{w_l\}, l = 1, 2, \dots, L$, – анализируемый числовой ряд.

Шаг 1. Вычислить информативный частотный портрет G^F прецедента F .

Шаг 2. Выбрать очередное значение i – местоположение в числовом ряде W первого элемента (координата полюса) анализируемого отрезка данных, размерности N ,

$$1 \leq i \leq L - N + 1. \quad (6)$$

Шаг 3. Создать анализируемый отрезок данных $V = \{v_n\}, n = 1, 2, \dots, N$, размерности N , на основе числового ряда W ,

$$v_n = w_{i+n-1}, n = 1, 2, \dots, N. \quad (7)$$

Шаг 4. Вычислить информативный частотный портрет G^V для вектора V (на основании соотношений (1)-(5)).

Шаг 5. Вычислить среднеквадратическое отклонение σ_i информативного частотного портрета G^V относительно информативного частотного портрета G^F прецедента F ,

$$\sigma_i = \sqrt{\frac{\sum_{m=1}^M (g_m^V - g_m^F)^2}{\sum_{m=1}^M (g_m^F)^2}}. \quad (8)$$

Шаг 6. Перейти к шагу 2, если выполнено условие:

$$i < L - N + 1.$$

Шаг 7. Вычислить номер i^* , соответствующий минимальному значению $\sigma_i, i = 1, 2, \dots, L - N + 1$,

$$i^* = \arg \min_{i=1, 2, \dots, L-N+1} \sigma_i. \quad (9)$$

Шаг 8. Конец.

В качестве оценки предполагаемого местоположения прецедента F в числовом ряде W предлагается выбрать значение i^* (9).

При проверке работоспособности разработанного алгоритма предлагается оценивать погрешность δ^F локализации (определения местоположения) прецедента F в числовом ряде W ,

$$\delta^F = |i^* - i^F|. \quad (10)$$

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Следующие вычислительные эксперименты демонстрируют результаты применения ИЧП при локализации на числовом ряде отрезков данных, соответствующих заданному прецеденту.

На рисунке 2 приведен пример прецедента F (рисунок 2а), размерности $N=256$ элементов, местоположение которого необходимо оценить в заданном числовом ряде W (рисунок 2в), размерности $L=2048$ элементов. Значения элементов прецедента выбраны так, чтобы они совпадали со значениями элементов числового ряда W , с номерами от 200 до 455. Для прецедента F на основании соотношений (1)-(5) построен информативный частотный портрет G^F , содержащий 32 элемента (рисунок 2б).

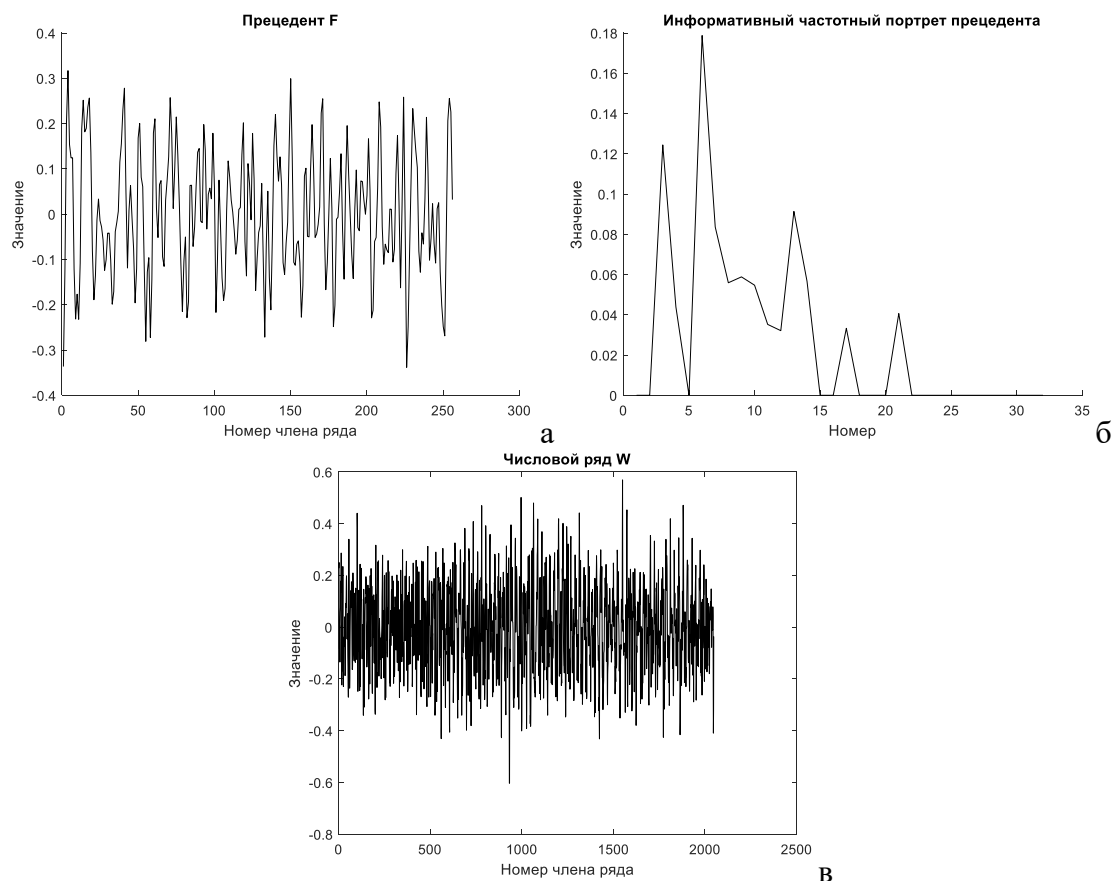


Рис. 2. Прецедент и анализируемый числовой ряд: а – прецедент F , б – информативный частотный портрет G^F прецедента, в – анализируемый числовой ряд W

Fig. 2. Precedent and analyzed numerical series: a – precedent F , b – informative frequency portrait G^F , c – analyzed numerical series W

При применении разработанного алгоритма оценивания местоположения заданного прецедента F в числовом ряде W получены следующие результаты.

На рисунке 3 приведен график значений среднеквадратического отклонения (8) информативного частотного портрета G^V отрезка данных V , размерности 256 элементов, относительно информативного частотного портрета G^F прецедента F , вычисленных для всевозможных положений полюса анализируемого отрезка данных V в заданном числовом ряде W .

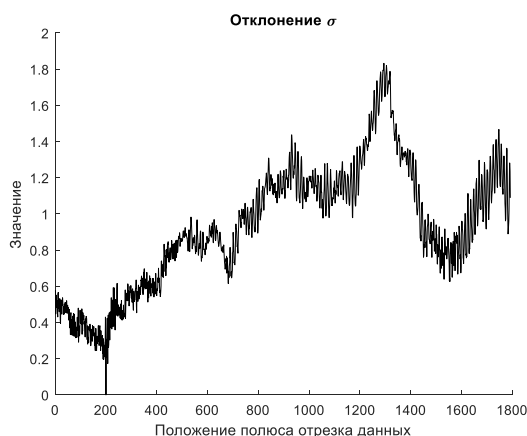


Рис. 3. Значения среднеквадратического отклонения (8) для всевозможных положений полюса анализируемого отрезка данных

Fig. 3. Values of the square deviation (8) for all possible pole positions of the analyzed data segment

При проведении вычислительного эксперимента в качестве оценки (9) местоположения прецедента F в числовом ряде W выбран 200-й элемент числового ряда W (минимальное значение на графике на рисунке 3), что совпадает с модельным положением прецедента. Следовательно, погрешность δ^F (10) определения местоположения прецедента F в числовом ряде W равна 0, что демонстрирует работоспособность разработанного алгоритма.

В таблице 1 приведены результаты вычислительных экспериментов по оцениванию на основании разработанного алгоритма местоположений полюса (первого элемента) прецедентов, размерности 128, 256 и 512 элементов в числовом ряде W . При проведении вычислительных экспериментов была задана размерность информативного частотного портрета 16, 32 и 64 элемента.

Таблица 1

Результаты вычислительных экспериментов по оцениванию местоположений полюса прецедентов

Table 1

Results of computational experiments on estimating the precedents pole locations

Размерность прецедента (элементы)	Размерность информативного частотного портрета (элементы)	Заданное местоположение полюса прецедента (номер элемента)	Оценка местоположения полюса прецедента (номер элемента)
128	16	100	100
128	32	100	100
128	64	100	100
256	16	300	300
256	32	300	300
256	64	300	300
512	16	500	500
512	32	500	500
512	64	500	500

Данные, приведенные в таблице 1, демонстрируют работоспособность разработанного алгоритма по оцениванию локализации отрезков числовых рядов на основе применения информативного частотного портрета при ДКП – полученные оценки местоположения полюса прецедента совпадают с заданными положениями полюса. Следует отметить, что в вычислительных экспериментах, в которых использованы размерности прецедента и ИЧП, отличные от приведенных в таблице 1, также были получены соответствующие результаты оценивания местоположений полюса прецедентов.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Таким образом, в работе приведено построение информативного частотного портрета в рамках косинус преобразования отрезка эмпирических данных, а также разработан алгоритм оценивания местоположения заданного прецедента в числовом ряде. Проведенные вычислительные эксперименты показали работоспособность алгоритма выделения прецедента в числовом ряде на основе применения информативного частотного портрета.

Список литературы

1. Абрамов Г.В., Коробова Л.А., Ивашин А.Л., Матыцина И.А. Анализ и использование математических методов для распознавания звуковых сигналов // Вестник воронежского государственного университета инженерных технологий. – 2015. – №2(64). – С. 61-65.
2. Гапочкин А.В. Нейронные сети в системах распознавания речи // Science time. – 2014. – №1. – С. 29-36.
3. Пузанов А.Д., Нефедов Д.С. Синтез алгоритма обнаружения беспилотных летательных аппаратов по акустическим шумам // Доклады белорусского государственного университета информатики и радиоэлектроники. – 2021. – №2. – С. 65-73.
4. Зинченко Ю.Е., Азаров А. Б., Константинов В.С., Зинченко Т.А. Разработка алгоритма и архитектуры вкс распознавания звуковых сигналов на базе FPGA // Современные тенденции развития и перспективы внедрения инновационных технологий в машиностроении, образовании и экономике. – 2019. – №1 (4). – С. 75-80.
5. Алпатов Б.А., Бабаян П.В., Балашов О.Е., Степашкин А.И. Методы автоматического обнаружения и сопровождения объектов. Обработка изображений и управление. – М.: Радиотехника, 2008 г., – 176 с.
6. Рысин Ю.С., Терехов А.Н., Яблочников С.Л., Иевлев О.П. Теоретические аспекты идентификации объектов-источников звуковых сигналов // Системы синхронизации, формирования и обработки сигналов. – 2018. – Т. 9, № 4. – С. 101-105.
7. Калугин Ю.А., Рудаков И.В. Методы выделения одного заданного источника звука по одной зашумленной записи // Modern Science. – 2020. – № 3-2. – С. 254-264.
8. Плекин В.Я. Алгоритмы и цифровые устройства селекции движущихся целей. – М.: МАИ, 2002.
9. Жилияков Е.Г. Вариационные методы анализа и построения функций по эмпирическим данным на основе частотных представлений. – Белгород: Изд-во БелГУ, 2007. – 160 с.
10. Черноморец А.А., Болгова Е.В., Черноморец Д.А. Обобщенный субполосный анализ на основе унитарных преобразований // Научные ведомости БелГУ. Сер. Экономика. Информатика. – 2015. – № 7(204). – Вып. 34/1. – С. 97-104.
11. Черноморец А.А., Болгова Е.В. Об анализе данных на основе косинусного преобразования // Научные ведомости БелГУ. Сер. История. Политология. Экономика. Информатика. – 2015. – № 1(198). – Вып. 33/1. – С. 68-73.
12. Ахмед Н., Рао К. Ортогональные преобразования при обработке цифровых сигналов. – М.: Связь, 1980. – 248 с.
13. Залманзон Л.А. Преобразования Фурье, Уолша, Хаара и их применение в управлении, связи и других областях. – М.: Наука, 1989. – 496 с.
14. Яне Б. Цифровая обработка изображений. – М.: Техносфера, 2007. – 584 с.
15. Гонсалес Р., Вудс Р. Цифровая обработка изображений. Издание 3-е, исправленное и дополненное. – М.: Техносфера, 2012. – 1104 с.
16. Рабинер Л., Голд Г. Теория и применение цифровой обработки сигналов. – М.: Мир, 1988. – 512 с.
17. Сергиенко А.Б. Цифровая обработка сигналов: учеб. пособие для студ. вузов. – СПб.: Питер, 2002. – 603с.: ил.
18. Голд Б., Рейдер Ч. Цифровая обработка сигналов: пер. с англ. / Б. Голд– М.: Сов. радио, 1973.
19. Нуссбаумер Г. Быстрое преобразование Фурье и алгоритмы вычисления сверток / Г. Нуссбаумер; ред.: В.М. Амербаев, Т.Э. Кренкель; пер. с англ.: Ю.Ф. Касимов, И.П. Пчелинцев. – М.: Радио и связь, 1985. – 248 с.
20. Прэтт У. Цифровая обработка изображений. – М.: Мир, 1982. – 312 с.

References

1. Abramov G.V., Korobova L.A., Ivashin A.L., Matytsina I.A. Analysis and use of mathematical methods for recognizing sound signals // Bulletin of the Voronezh State University of Engineering Technologies. – 2015. – No. 2(64). – pp. 61-65.
2. Gapochkin A.V. Neural networks in speech recognition systems // Science time. – 2014. – No. 1. – pp. 29-36.
3. Puzanov A.D., Nefedov D.S. Synthesis of an algorithm for detecting unmanned aerial vehicles based on acoustic noise // Reports of the Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics. – 2021. – No. 2. – P. 65-73.

4. Zinchenko Yu.E., Azarov A.B., Konstantinov V.S., Zinchenko T.A. Development of an algorithm and architecture for audio signal recognition based on FPGA // Modern development trends and prospects for the implementation of innovative technologies in mechanical engineering, education and economics. – 2019. – No. 1(4). – P. 75-80.
5. Alpatov B.A., Babayan P.V., Balashov O.E., Stepashkin A.I. Methods for automatic detection and tracking of objects. Image processing and control. – M.: Radio engineering, 2008, – 176 p.
6. Rysin Yu.S., Terekhov A.N., Yablochnikov S.L., Ievlev O.P. Theoretical aspects of identification of objects-sources of sound signals // Systems of synchronization, generation and processing of signals. – 2018. – Т. 9, No. 4. – P. 101-105.
7. Kalugin Yu.A., Rudakov I.V. Methods for identifying one given sound source from one noisy recording // Modern Science. – 2020. – No. 3-2. – pp. 254-264.
8. Plekin V.Ya. Algorithms and digital devices for selecting moving targets. – M.: MAI, 2002.
9. Zhilyakov E.G. Variational methods of analysis and construction of functions from empirical data based on frequency representations. – Belgorod: BelSU Publishing House, 2007. – 160 p.
10. Chernomorets A.A., Bolgova E.V., Chernomorets D.A. The generalized subband analysis on the basis of unitary transformations // Belgorod State University Scientific Bulletin. Economics. Information technologies. – 2015. – No. 7(204). – Vol. 34/1. – pp. 97-104.
11. Chernomorets A.A., Bolgova E.V. On the analysis of data based on the cosine transformation // Belgorod State University Scientific Bulletin. History. Political science. Economics. Information technologies. – 2015. – No. 1(198). – Vol. 33/1. – pp. 68-73.
12. Ahmed N., Rao K. Orthogonal transformations in digital signal processing. – M.: Communication, 1980. – 248 p.
13. Zalmanzon L.A. Fourier, Walsh, Haar transforms and their application in control, communications and other areas. – M.: Nauka, 1989. – 496 p.
14. Jane B. Digital image processing. – M.: Tekhnosphere, 2007. – 584 p.
15. Gonzalez R., Woods R. Digital image processing. 3rd edition, corrected and expanded. – M.: Tekhnosphere, 2012. – 1104 p.
16. Rabiner L., Gold G. Theory and application of digital signal processing. – M.: Mir, 1988. – 512 p.
17. Sergienko A.B. Digital signal processing: textbook for students universities. – St. Petersburg: Peter, 2002. – 603 p.: ill.
18. Gold B., Rader Ch. Digital signal processing: trans. from English / B. Gold – M.: Sov. radio, 1973.
19. Nussbaumer G. Fast Fourier transform and algorithms for calculating convolutions / G. Nussbaumer; ed.: V.M. Amerbaev, T.E. Krenkel; lane from English: Yu.F. Kasimov, I.P. Pchelintsev. – M.: Radio and Communications, 1985. – 248 p.
20. Pratt W. Digital image processing. – M.: Mir, 1982. – 312 p.

Урсол Денис Владимирович, кандидат технических наук, инженер-программист

Тихонский Николай Антонович, магистрант кафедры прикладной информатики и информационных технологий

Черноморец Дарья Андреевна, аспирант кафедры информационно-телекоммуникационных систем и технологий

Болгова Евгения Витальевна, кандидат технических наук, доцент кафедры прикладной информатики и информационных технологий

Черноморец Андрей Алексеевич, доктор технических наук, доцент, профессор кафедры прикладной информатики и информационных технологий

Ursol Denis Vladimirovich, Candidate of Technical Sciences, Software Engineer

Tikhonsky Nikolay Antonovich, master's student of the Department of Applied Informatics and Information Technologies

Chernomorets Darya Andreevna, postgraduate student of the Department of Information and Telecommunications Systems and Technologies

Bolgova Evgeniya Vitalievna, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Applied Informatics and Information Technologies

Chernomorets Andrey Alekseevich, Doctor of Technical Sciences, Associate Professor, Professor of the Department of Applied Informatics and Information Technologies