



<http://dx.doi.org/10.35596/1729-7648-2020-18-1-52-58>

Оригинальная статья
Original paper

УДК 621.37

АНАЛИЗ ПАРАМЕТРОВ РАДИОСИГНАЛОВ ДЛЯ ИДЕНТИФИКАЦИИ ИСТОЧНИКА ИЗЛУЧЕНИЯ

АРХИПЕНКОВ Д.В.

*Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники
(г. Минск, Республика Беларусь)*

Поступила в редакцию 19 сентября 2019

© Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники, 2020

Аннотация. Целью данной статьи является необходимость создания единичного портрета источника радиоизлучения и способов идентификации. Для обнаружения, идентификации и определения местоположения источников радиоизлучения в зоне покрытия используются средства радиомониторинга. Одной из важных задач, решаемых системой радиомониторинга, является прием (перехват) передаваемых сообщений в радиоэфире и идентификация сигнала. В статье рассмотрены вопросы классификации основных параметров источников радиоизлучения, приведена классификация видов модуляции и основные параметры ее типов. Структуру сигнала позволяют определить автокорреляционный и корреляционный методы. Автокорреляция используется для определения таких параметров сигнала, как длительность посылки, длительность блока данных. Корреляция позволяет идентифицировать конкретный сигнал из имеющего набора. Для обнаружения источника радиоизлучения приведены два обобщенных алгоритма: распознавания вида источника радиоизлучения по неизвестным параметрам и алгоритм идентификации источника излучения по заданным параметрам. Представлен результат моделирования алгоритма распознавания источника радиоизлучения с заданными параметрами, в качестве заданного сигнала использовалась сигнатура с линейно-частотной модуляцией. Результатом работы алгоритма является единичный выброс при полном соответствии сигналов, при расхождении сигналов – ширина выброса увеличивается, что и свидетельствует о расхождении. Данный алгоритм можно использовать для поиска заданного вида сигнала, что позволяет увеличить скорость анализа полосы и точность обнаружения. Для увеличения точности обнаружения рекомендуется использовать комбинацию двух алгоритмов с дополнительной цифровой обработкой сигналов, что должно привести к увеличению точности определения вида сигнала и более быстрому нахождению параметров источника радиоизлучения.

Ключевые слова: модуляция, алгоритм распознавания, источник радиоизлучения, линейно-частотная модуляция.

Конфликт интересов. Автор заявляет об отсутствии конфликта интересов.

Для цитирования. Архипенков Д.В. Анализ параметров радиосигналов для идентификации источника излучения. Доклады БГУИР. 2020; 18(1): 52-58.

ANALYSIS OF RADIO SIGNAL PARAMETERS FOR EMISSION SOURCE IDENTIFICATION

DMITRY.V. ARKHIPENKOV

Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics (Minsk, Republic of Belarus)

Submitted 19 September 2019

© Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics, 2020

Abstract. The purpose of the article is the need to create a single portrait of a radioemission source and identification methods. Radiomonitoring tools are used to detect, identify and locate sources of radioemission in the coverage area. One of the important tasks solved by the radio monitoring system is the reception (interception) of transmitted messages on the air and signal identification. The article deals with the classification of the main parameters of radioemission sources, provides a classification of the modulation types and the main its parameters. The signal structure can be determined by autocorrelation and correlation methods. Autocorrelation is used to determine signal parameters such as the transmission duration, data block duration. Correlation allows to identify a specific signal from the set. To detect a radioemission source, two generalized algorithms are presented: recognition of the radioemission source type by unknown parameters and an algorithm for identifying a radiation source by given parameters. A simulation result of a radioemission source recognition algorithm with given parameters is presented; a linear frequency-modulated signature was used as a given signal. The result of the algorithm is a single outlier with full signal compliance, when the signals diverge, the outlier width increases, which indicates a discrepancy. This algorithm can be used to search for a given type of signal, which allows to increase the strip analysis speed and the detection accuracy. To increase the detection accuracy, it is recommended to use a combination of two algorithms with additional digital signal processing, which should lead to an increase in the accuracy of type of signal determining and a more rapid determination of the radiation source parameters.

Keywords: modulation, recognition algorithm, radiation source, chirp.

Conflict of interests. The author declares no conflict of interests.

For citation. Arkhipenkov D.V. Analysis of radio signal parameters for emission source identification. Doklady BGUIR. 2020; 18(1): 52-58.

Введение

Современный радиозфир насыщен самыми разнообразными излучениями: от ручного телеграфа до сложных, меняющихся во времени радиосигналов с цифровой модуляцией и кодированием, выявить параметры которых не всегда возможно. Для обнаружения, идентификации и определения местоположения источников радиоизлучения в зоне покрытия используются средства радиомониторинга. Одной из важных задач, решаемых системой радиомониторинга, является прием (перехват) передаваемых сообщений в радиозфире. На рис. 1 показана структурная модель системы сигнатурного детектирования источников радиоизлучений (ИРИ) [1].

В настоящее время наибольшее применение в задачах радиомониторинга находят панорамные ЦРПУ (цифровые радиоприемные устройства), представляющие сочетание преобразователей радиосигналов с фиксированной промежуточной частотой и блока аналого-цифровой обработки, обеспечивающего параллельную обработку сигналов в полосе одновременного анализа с необходимым частотным разрешением [2]. В связи с этим существует необходимость в создании единичного портрета ИРИ и способов идентификации данного излучения.

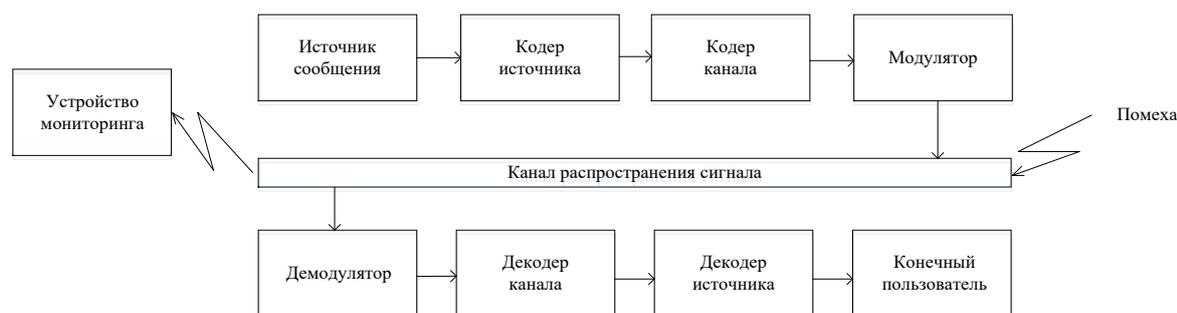


Рис. 1. Структурная модель системы сигнатурного детектирования источников радиоизлучений
Fig. 1. Structural model of signature detection system of radio emission sources

Классификация основных параметров ИРИ

В общем виде любой радиосигнал, принимаемый устройством радиомониторинга, можно представить во временной области как [3]

$$u(t) = U(t) \cos(\omega(t)t + \varphi(t)) + \eta(t), \quad (1)$$

где $U(t)$, $\omega(t)$, $\varphi(t)$ – функции, определяющие закон изменения сигнала по амплитуде, частоте и фазе соответственно; $\eta(t)$ – шумовая составляющая.

В зависимости от вида модулирующего, модулируемого сигнала и модулируемых параметров можно предложить следующую классификацию:

- 1) по виду временной характеристики: непрерывный, импульсный;
- 2) по виду модуляции – табл. 1.

Таблица 1. Классификация видов модуляции
Table 1. Classification of modulation types

| Тип модуляции Modulation type | Аналоговая Analog | Импульсная Pulse | Цифровая Digital |
|--|---|--|---|
| Модулирующий сигнал Modulating signal | Аналоговый | Аналоговый или дискретный | Дискретный |
| Несущая Carrier signal | Аналоговая | Дискретная | Аналоговая |
| Вид модуляции Modulation kind | АМ (амплитудная модуляция) ЧМ (частотная модуляция) ФМ (фазовая модуляция) ЛЧМ (линейно-частотная модуляция) | АИМ (амплитудно-импульсная модуляция) ШИМ (широотно-импульсная модуляция) ФИМ (фазоимпульсная модуляция) | АМн (амплитудная манипуляция) ЧМн (частотная манипуляция) ФМн (фазоманипулированная несущая) Комбинированная |

Решение задачи определения модуляционной структуры сигнала является использование методов статистической теории распознавания образов. Постановка задачи распознавания предполагает выбор признаков распознавания, определение их статистических характеристик, формирование эталонных описаний распознаваемых классов, выбор решающего правила отнесения контрольной выборки и способов оценивания ошибок распознавания.

В классической постановке задача распознавания формулируется как задача отнесения некоторой контрольной выборки признаков распознавания $\{x_i\}, i = 1, \dots, N$ к одному из описываемых классов S_1, \dots, S_m . При этом известные методы распознавания отличаются в основном способами описания S_1, \dots, S_m .

В настоящее время хорошо изучена задача распознавания для полностью описанных классов, когда они однозначно определяются функциями распределения $W(x) = W(x|S_i)$, либо функциями плотности вероятности $\omega(x|S_i) = dW(x|S_i)dx$ и априорными вероятностями

их появления p_i [4]. Однако для проведения технического анализа модуляционной структуры сигналов систем радиосвязи использование классических методов оптимальной оценки параметров и статистической теории распознавания образов малоэффективно. Требование оперативности настройки обрабатывающей аппаратуры обуславливает необходимость разработки специальных методов определения модуляционных параметров по неклассифицированной выборке фиксированного объема, поэтому практический интерес представляет задача разработки более простого и эффективного метода определения модуляции.

Структуру сигнала позволяют определить автокорреляционный и корреляционный методы. В первом случае исследуемый сигнал умножается на сдвинутые по времени его копии, во втором – реализуется перемножение сигнала с рядом опорных колебаний с тем или иным видом модуляции при различных параметрах модуляции. Автокорреляция используется для определения таких параметров сигнала, как длительность посылки, длительность блока данных. Корреляция позволяет идентифицировать конкретный сигнал из имеющего набора и, в частности, определять наличие синхро- или пилот-последовательностей.

Наиболее наглядно выявление типа модуляции на основе векторного представления сигналов. Под векторным представлением понимают отображение мгновенной амплитуды и фазы сигнала на комплексной плоскости [1]. Для каждого типа модуляции (аналоговой, импульсной, цифровой) можно выделить основной ряд параметров, которые характеризуют сигналы в данном типе модуляции.

Алгоритм идентификации источника излучения по неизвестным параметрам

При идентификации сигнала с эфира можно выделить два обобщенных алгоритма распознавания неизвестного сигнала: идентификация ИРИ с неизвестными параметрами и с заданным(и) параметром(ами). На рис. 3 представлен обобщенный алгоритм идентификации ИРИ при неизвестных параметрах сигнала.

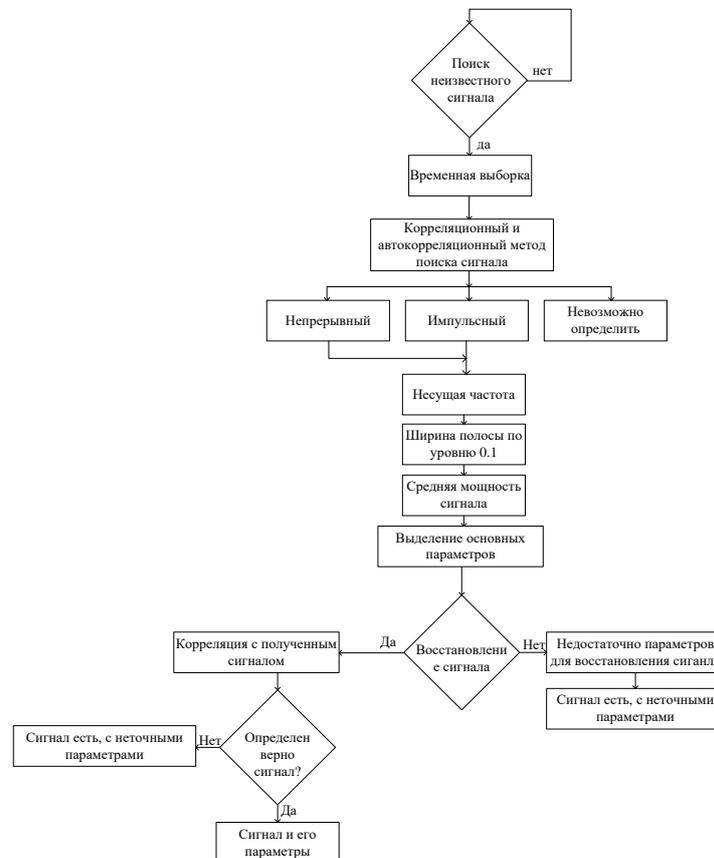


Рис. 3. Обобщенный алгоритм для идентификации источника излучения
Fig.3. Generalized algorithm for radiation emission source

В соответствии с представленным на рис. 3 алгоритмом происходит сканирование радиоэфира во всей частотной области радиоприемного устройства и производится анализ временной выборки на заданной частоте. Первоначальной задачей алгоритма является определение частоты сигнала, занимаемой полосы и вида модуляции. Предположительную структуру сигнала позволяет определить корреляционный и автокорреляционный метод. Если сигнал присутствует, то производится анализ временной выборки на основе быстрого преобразования Фурье (БПФ). На основе этих данных определяются ширина полосы по уровню $0,1P_{\text{норм}}$ и средняя мощность сигнала. Далее алгоритм путем перебора определяет вид модуляции и основные параметры, после чего на основе полученных данных формируется структура с наиболее вероятным видом модуляции и параметры сигнала. На основе данной структуры алгоритм формирует сигнал, который сравнивается с принимаемым сигналом, в результате чего осуществляется вывод информации о наличии сигнала и его виде.

Алгоритм идентификации источника излучения по заданным параметрам

Представленный на рис. 3 алгоритм имеет множество недостатков, так как использует метод перебора всех видов модуляции, что может привести к ложному срабатыванию. При отсутствии знаний о параметрах искомого сигнала данный метод не способен точно найти сигнал. Поэтому предлагается алгоритм, основанный на использовании сигнатурного детектирования сигнала (рис. 4). Идея данного алгоритма заключается в том, что принимаемый сигнал сравнивается в блоке сравнения с сигнатурами, занесенными в память устройства, либо с сигналом с заданными параметрами, формируемым с помощью этого устройства его оператором. Далее решающее устройство определяет, соответствует ли сигнал сигнатуре или сигналу с заданными свойствами либо нет.

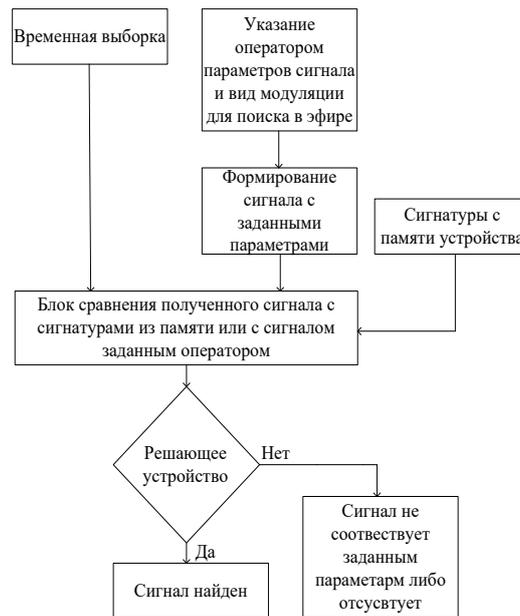


Рис. 4. Обобщенный алгоритм идентификации источника излучения по заданным параметрам
Fig. 4. Generalized algorithm for the identification of the emission source according to the specified parameters

Например, если в качестве сигнатуры использовать ЛЧМ сигнал с определенными параметрами и принимать такой же с шумом ЛЧМ сигнал, то в блоке сравнения сигналов будет иметься один узкий максимум. При изменении параметра(ов) сигнала максимум будет расширяться, что свидетельствует об отклонении параметров принимаемого ЛЧМ сигнала от параметров сигнатуры. При приеме другого вида сигнала на выходе сравнивающего блока будет шум, что свидетельствует о не совпадении сигналов (рис. 5).

Главным недостатком данного алгоритма: совершенствование базы излучаемых сигналов и сложность их кодирования, что приводит к постоянному обновлению базы данных устройства поиска сигналов.

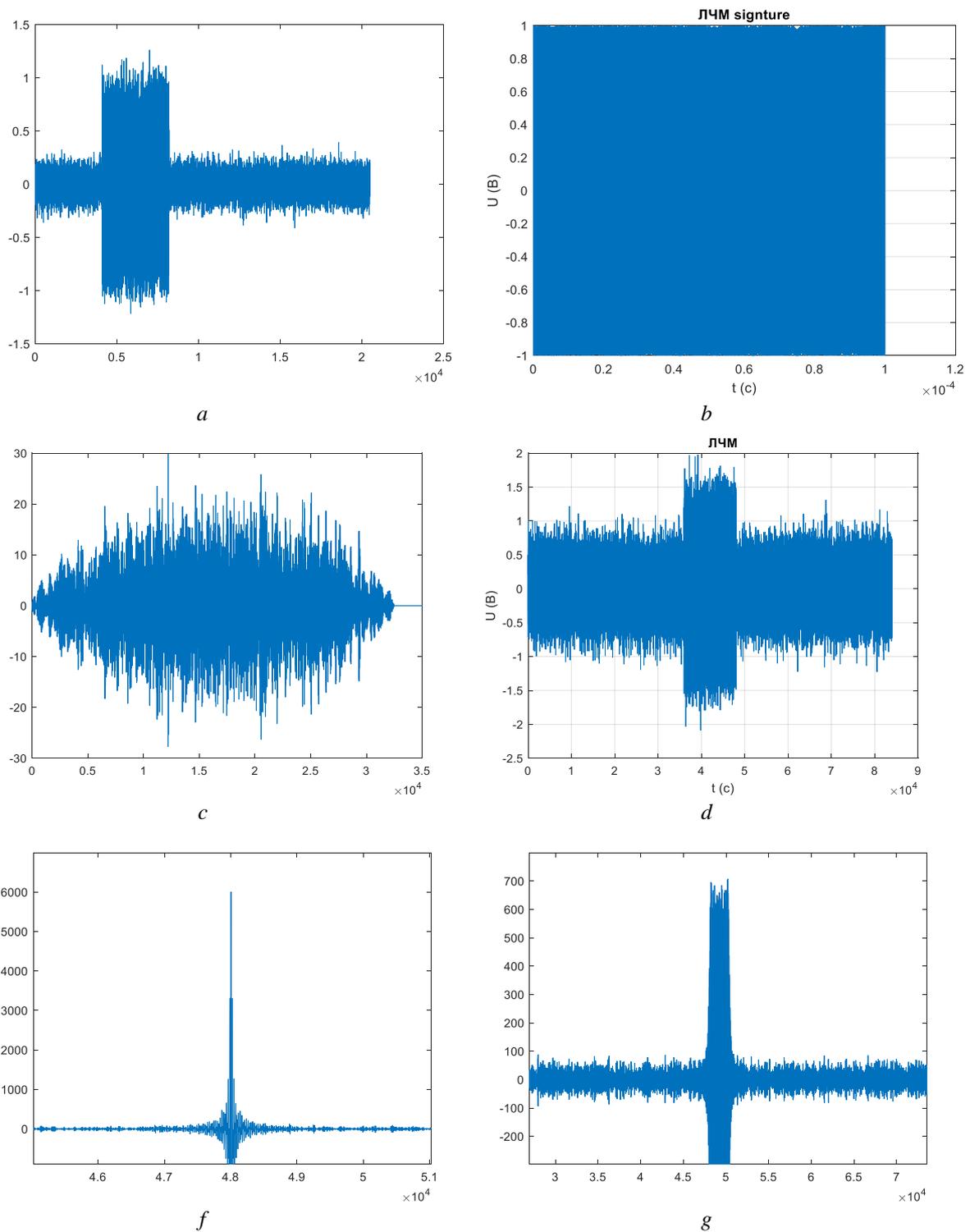


Рис. 5. Принцип работы алгоритма идентификации источника излучения по заданным параметрам: *a* – зашумленный АМ сигнал; *b* – сигнатура ЛЧМ сигнала; *c* – результат блока сравнения принятого АМ сигнала с сигнатурой ЛЧМ; *d* – зашумленный ЛЧМ сигнал с такими же параметрами как ЛЧМ-сигнатура; *e* – результат блока сравнения ЛЧМ принятого сигнала с сигнатурой ЛЧМ (при одинаковых параметрах сигнала); *f* – результат блока сравнения ЛЧМ принятого сигнала с сигнатурой ЛЧМ (при увеличении девиации частоты)

Fig. 5. The principle of operation of the radiation source identification algorithm for the specified parameters: *a* – noisy AM signal; *b* – the signature of a chirp signal; *c* – the result of a block comparison of a received AM signal with the chirp signature; *d* – noisy chirp signal with the same parameters as the chirp signature; *e* – the result of the compare unit chirp received signal with the signature chirp (with the same parameters of the signal), *f* – the result of the compare unit chirp received signal with the signature chirp (increasing frequency deviation)

Заклучение

В статье рассмотрены вопросы, связанные с определением видов и параметров модуляции. Представлены два обобщенных алгоритма распознавания сигнала. Метод с использованием сигнатур увеличивает скорость анализа сканируемой полосы радиочастот, имеет высокую точность обнаружения сигнала и малую вероятность срабатывания на ложный сигнал. Данный метод можно применять в комплексе с разведывательными устройствами для обнаружения целей с заданными параметрами. Для эффективной идентификации источника излучения рекомендуется использовать комбинацию представленных алгоритмов с дополнительной цифровой обработкой сигналов.

Список литературы

1. Рембовский А.М., Ашихмин А.В., Козьмин В.А. *Радиомониторинг задачи, методы, средства*. М.: Горячая линия – Телеком; 2006.
2. Ашихмин А.В., Виноградов А.Д., Рембовский А.М. *Принципы построения современных радиопеленгаторов*. М.: Ведомственные корпоративные сети и системы; 2002.
3. Онищук А. Г., Забеньков И.И., Амелин А. М. *Радиоприемные устройства*. Минск: Новое знание; 2007.
4. Фомин Я.А. *Статистическая теория распознавания образов*. М.: Радио и связь, 1986.

References

1. Rembovsky A. M., Ashihmin A.V., Kozmin V.A. [*Radiomonitoring tasks, methods*]. M.: Garachay linia – Telekom; 2006. (In Russ.)
2. Ashikhmin A.V., Vinogradov, A.D., Rembovsky A.M. [*The principles of modern finders*]. .M.: Vedomstvenie korporativnie seti i sistemi; 2002. (In Russ.)
3. Onishchuk A.G., Zabenkov I.I., Amelin A.M. [*Receivers*]. Minsk: Novie znania. 2007. (In Russ.)
4. Fomin, Ya. A. [*Statistical theory of pattern recognition*]. M.: Radio i svyaz; 1986. (In Russ.)

Сведения об авторе

Архипенков Д.В., аспирант кафедры информационных радиотехнологий Белорусского государственного университета информатики и радиоэлектроники.

Information about the author

Arkhipkov D.V., PG student of Information Radio-technologies department of Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics

Адрес для корреспонденции

220013, Республика Беларусь
г. Минск, ул. П. Бровки, д. 6,
Белорусский государственный университет
информатики и радиоэлектроники
тел. +375-29-260-74-76;
e-mail: rembolt94@gmail.com
Архипенков Дмитрий Владимирович

Address for correspondence

220013, Republic of Belarus,
Minsk, P. Brovka str., 6,
Belarusian State University
of Informatics and Radioelectronics
tel. +375-29-260-74-76;
e-mail: rembolt94@gmail.com
Arkhipenkov Dmitry Vladimirovich