

## Использование апостериорной информации при реализации систем радиолокационного распознавания с применением нейросетевых технологий

Д. Ф. Бескостый<sup>1</sup>, С. Г. Боровиков<sup>1</sup>, Ю. В. Ястребов<sup>1</sup>, И. А. Созонтов<sup>2✉</sup>

<sup>1</sup> Научно-исследовательский центр ЦНИИ ВВС Минобороны России, Санкт-Петербург, Россия

<sup>2</sup> Военная академия воздушно-космической обороны, Тверь-22, Россия

✉ ilya.sozontov@gmail.com

### Аннотация

**Введение.** Существующая в настоящее время необходимость получения актуальной, полной и достоверной информации о воздушных объектах определяет постоянное совершенствование современных систем радиолокационного распознавания (СРЛР), входящих в состав систем управления. Развитие современных СРЛР создает объективные предпосылки для использования прогрессивных и разработки новых методов и алгоритмов обработки сигналов с помощью нейронных сетей. Применение искусственных нейронных сетей, обладающих свойством обучаемости, позволяет расширить множество признаков распознавания за счет использования полученной в процессе контроля воздушного пространства информации.

**Цель работы.** Формулировка задачи и разработка предложений по использованию апостериорной информации для контроля воздушного пространства в системах радиолокационного распознавания при применении нейросетевых технологий.

**Материалы и методы.** На основе анализа структуры единого информационного пространства сформулирован подход к развитию СРЛР на основе обучающих технологий. С применением метода синтеза предложены примеры технических решений, позволяющие использовать современные методы и алгоритмы обработки сигналов на основе апостериорной информации, формируемой системой управления.

**Результаты.** Сформулированы принципы обучения нейронной сети при решении задачи распознавания в процессе функционирования радиоэлектронных средств (РЭС). Предложены технические решения, учитывающие функционирование интегрированной радиолокационной системы и позволяющие в едином информационном поле получать требуемые для обучения СРЛР информационные параметры. Показано, что снятие ограничений, связанных с автономностью функционирования РЭС, позволяет использовать апостериорную информацию при реализации систем радиолокационного распознавания. Этот факт дает возможность увеличить количество используемых в алгоритмах признаков распознавания и пополнить базы портретов.

**Заключение.** СРЛР может развиваться посредством обучения за счёт снятия ограничений, связанных с автономностью функционирования РЭС. Это позволяет повысить адекватность оценки обстановки и оптимизировать принимаемые управленческие решения.

**Ключевые слова:** радиолокационное распознавание, апостериорная информация, нейросеть, обучение, радиолокационное средство, информационное пространство

**Для цитирования:** Использование апостериорной информации при реализации систем радиолокационного распознавания с применением нейросетевых технологий / Д. Ф. Бескостый, С. Г. Боровиков, Ю. В. Ястребов, И. А. Созонтов // Изв. вузов России. Радиоэлектроника. 2019. Т. 22, № 5. С. 52–60. doi: 10.32603/1993-8985-2019-22-5-52-60

**Конфликт интересов.** Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Статья поступила в редакцию 01.07.2019; принята к публикации после рецензирования 16.09.2019; опубликована онлайн 29.11.2019

© Бескостый Д. Ф., Боровиков С. Г., Ястребов Ю. В., Созонтов И. А., 2019



## Use of Aposteriori Information in the Implementation of Radar Recognition Systems Using Neural Network Technologies

Dmitrii F. Beskostyi<sup>1</sup>, Sergei G. Borovikov<sup>1</sup>, Yurii V. Yastrebov<sup>1</sup>, Ilya A. Sozontov<sup>2</sup>✉

<sup>1</sup>Central Research Institute of the Air Force of the Russian Ministry of Defense, St. Petersburg, Russia

<sup>2</sup> Military Aerospace Defense Academy, Tver-22, Russia

✉ ilya.sozontov@gmail.com

### Abstract

**Introduction.** The current need to obtain relevant, complete and reliable information about airborne objects has led to the continuous improvement of modern radar recognition systems (MRRS) as part of control systems. The development of modern MRRS has created objective prerequisites for the use of progressive and new methods and algorithms for the processing of signals using neural networks. The use of artificial neural networks with learning ability permits expansion to include many signs of recognition by using information obtained in the process of monitoring airspace.

**Aim.** To formulate the problem and develop proposals for the use of posterior information for airspace control in radar recognition systems using neural network technologies.

**Materials and methods.** Based on an analysis of the structure of a unified information network, an approach was formulated to facilitate the development of MRRS based on training technologies. Using the synthesis method, examples of technical solutions were proposed, which will allow the use of modern methods and signal processing algorithms using a posteriori information generated by the control system.

**Results.** The study identified the principles of neural network training in solving the recognition problem in the process of functioning of radio electronic equipment (REE). The technical solutions proposed take the functioning of the integrated radar system into account, allowing the information parameters required for training MRRS in a single information field to be obtained. It is shown that the removal of restrictions associated with the functional autonomy of REE, allows the use of posterior information in the implementation of radar recognition systems. This also allows for an increase in the number of recognition signs used in the algorithms and for the database of portraits to be replenished.

**Conclusion.** MRRS can be developed via training by removing the restrictions associated with the autonomous functioning of RES. This allows for the situational assessment to be enhanced and management decisions to be optimised.

**Key words:** radar recognition, aposteriori information, neural network, training, radar, information space

**For citation:** Beskostyi D. F., Borovikov S. G., Yastrebov Yu. V., Sozontov I. A. Use of Aposteriori Information in the Implementation of Radar Recognition Systems Using Neural Network Technologies. Journal of the Russian Universities. Radioelectronics. 2019, vol. 22, no. 5, pp. 52–60. doi: 10.32603/1993-8985-2019-22-5-52-60

**Conflict of interest.** Author declare no conflict of interest.

Submitted 01.07.2019; accepted 16.09.2019; published online 29.11.2019

**Введение.** Значимость систем управления (СУ) в современном обществе постоянно растет. Они применяются как в гражданских, так и в военных сферах деятельности. Для выработки решений (управляющих воздействий) в СУ необходимы достоверные и максимально полные исходные данные.

Одним из основных направлений создания и совершенствования воздушно-космической обо-

роны (ВКО) в соответствии с концепцией ВКО Российской Федерации [1] являются полномасштабное развертывание федеральной системы разведки и контроля воздушного пространства (ФСР и КВП) и формирование единого информационного пространства (ЕИП) о состоянии воздушной обстановки. Элементами технической составляющей ФСР и КВП являются радиолокационные средства

(РЛС) (в общем случае радиоэлектронные средства (РЭС)), формирующие первичные исходные данные для принятия решений.

В настоящее время вызывает повышенный интерес распознавание воздушных объектов, поскольку оно обеспечивает большую полноту радиолокационной информации о реально складывающейся обстановке и, как следствие, оптимизацию и повышение адекватности формируемых на пунктах управления различной степени иерархии решений.

В связи с этим в состав информации, выдаваемой РЛС потребителям, стремятся включить данные о принадлежности радиолокационной цели к тому или иному классу (типу). Подобную информационную составляющую формирует входящая в состав РЛС система радиолокационного распознавания на основе информационных параметров сигналов, принимаемых при обзоре воздушного пространства.

Процесс распознавания основан на отождествлении с эталонами содержащихся в принимаемых сигналах определенных признаков (в общем случае наличие признака – достаточное условие для принадлежности объекта некоторому классу).

Формируемые при построении систем радиолокационного распознавания (СРЛР) из признакового пространства словари признаков представляют из себя априорную информацию для конкретного РЭС. Она создается посредством моделирования и проведения экспериментальных исследований [2–4].

Полученная в результате функционирования СУ, включающей РЭС с СРЛР, апостериорная информация, несмотря на наличие достаточно широко представленного математического аппарата [4–6], в настоящее время применяется в основном для обеспечения потребителей и оценки работоспособности алгоритмов распознавания.

В то же время ввиду необходимости актуальной, полной и достоверной информации о воздушных объектах для контроля воздушного пространства и принятия адекватных мер можно использовать апостериорную информацию, формируемую СУ, включающей РЭС с СРЛР, при применении нейросетевых технологий, в том числе для обеспечения алгоритмов распознавания исходными данными и для корректировки алгоритмов первичной и вторичной обработки сигналов.

**Методы.** Формально радиолокационное распознавание (РЛР) – задача отнесения обнаружен-

ного объекта к одному из элементов множества  $\{A_i\}$ , представляющего собой алфавит классов, – при ограничении на общие затраты, ассигнованные на создание всех устройств, решающих задачу РЛР, сводится к отысканию экстремума функционала [2]

$$\mathfrak{E}[t, S_{nt}, X_{It}, H_{rt}, H_q, Z|B],$$

где  $\mathfrak{E}[K]$  – выбранный критерий оценки эффективности;  $t$  – количество средств, привлекаемых к решению задачи распознавания;  $S_{nt}$  – множество типов радиолокационных сигналов;  $X_{It}$  – множество описаний признаков;  $H_{rt}$  – множество правил принятия решений о классе радиолокационной цели;  $H_q$  – множество правил использования данных о классе объекта;  $B = \{b_j\}$  – множество объектов различных типов;  $Z$  – множество параметров объектов, которые могут быть получены РЛС.

При решении задачи распознавания реализуются различные алгоритмы, обусловленные особенностями технической реализации применяемых методов, в свою очередь основанные на использовании определенного(ых) признака(ов).

Представляя алгоритм распознавания информационных портретов как абстрактную функциональную систему, состоящую из алфавита классов, словаря признаков, множества  $R$  правил (алгоритмов) принятия решения о принадлежности объекта к определенному классу, получим зависимость решения задачи распознавания от реализуемого алгоритма:

$$\mathfrak{E}[t, S_{nt}, R, \{Z|B\}].$$

Процесс развития СРЛР можно представить как процесс модификации алгоритма(ов) распознавания при условии постоянства множества типов радиолокационных сигналов  $S_{nt}$ :

$$\begin{aligned} \mathfrak{E}[t, S_{nt}, R_1, \{Z|B\}] Q_1 &\leq \\ &\leq \mathfrak{E}[t, S_{nt}, R_2, \{Z|B\}] Q_2, \end{aligned} \quad (1)$$

где  $R_1$  и  $R_2$  – множество алгоритмов распознавания, реализуемых РЭС до и после обучения соответственно  $[R_1 \subset R, R_2 \subset R, R_1 \neq R_2, R_2 = \Lambda(R_1)]$ ;  $Q_1$  и  $Q_2$  – множество условий, в которых функционируют реализующие алгоритмы распознавания РЭС.

При этом  $Q_1 \subset Q, Q_2 \subset Q$ , где  $Q$  – множество возможных условий функционирования РЭС.

Выполнение условия (1) основано на способности системы к обучению [3], т. е. к изменению своих параметров и (или) структуры в зависимости от экспериментальных данных. Конечное множество таких данных называется обучающей выборкой. Обучение является множеством правил использования данных о классе объекта  $H_q$  и описаний признаков  $X_{1t}$ .

Признаки радиолокационного распознавания разделяют по их физической природе [4].

Принципиальное отличие обучаемых классификаторов состоит в том, что границы между классами образов (портретов) определяются не непосредственным вычислением соответствующих коэффициентов в разделяющих функциях, а итеративно.

Типичными для рассматриваемой категории классификаторов являются искусственные нейронные сети (НС) [7–10], для которых свойство обучаемости естественно и неотъемлемо. Их применение дает хорошие результаты даже при использовании одного признака распознавания [11–13]. Применение в СРЛР совокупности признаков в настоящее время вызывает определенные трудности, связанные не только с усложнением аппаратуры главного тракта приема РЭС, но и с наличием априорной неопределенности при использовании отдельных признаков. Устранение априорной неопределенности [14] достигается комплексированием и обучением.

Для обучения нейроподобной системы необходима база данных (БД) обучающих примеров. Чем полнее БД и чем точнее примеры соответствуют рабочим режимам системы, тем точнее впоследствии система будет работать. Одним из направлений обучения с учетом применения структуры нейросети является корректировка весов (степени важности конкретного признака) для РЭС.

Универсального алгоритма обучения, подходящего для всех архитектур НС, не существует. Известен лишь набор средств, представленный множеством алгоритмов обучения, каждый из которых имеет свои достоинства. Алгоритмы обучения отличаются друг от друга способом настройки синаптических весов нейронов. Еще одной отличительной характеристикой является способ связи обучаемой нейросети с внешним миром. В этом контексте говорят о парадигме

обучения (learning paradigm), связанной с моделью окружающей среды, в которой функционирует данная НС. В НС поступают стимулы из внешней среды, определяемые компонентами  $t, S_{nt}, X_{1t}, \{Z|B\}$ . В результате этого изменяются параметры НС, после чего она отвечает на возбуждения уже иным образом.

В настоящее время применительно к НС рассматривают 5 основных моделей обучения:

- на основе коррекции ошибок;
- с использованием памяти;
- хеббовское обучение;
- конкурентное обучение;
- метод Больцмана.

Обучение, основанное на коррекции ошибок, реализует метод оптимальной фильтрации. Обучение на основе памяти предполагает явное использование обучающих данных. Метод Хебба и конкурентный подход к обучению основаны на нейробиологических принципах. В основу метода Больцмана положены идеи статистической механики.

Реализация алгоритмов обучения предполагает наличие достоверной информации о типе (классе) объектов распознавания после их обнаружения и отождествления.

В случае формирования ЕИП о состоянии воздушной обстановки путем сбора и обработки информации, добываемой различными источниками (включая собственные унифицированные для Минобороны, Росавиации и других министерств и ведомств радиолокационные комплексы), и наличия доступа к этому пространству различных потребителей с учетом разграничений их полномочий при решении стоящих перед ними задач указанная информация может быть получена непосредственно либо от средств автоматизации (в том числе от единой системы организации воздушного движения (ЕС ОВД)), а также от операторов, прошедших специальную подготовку.

Кроме того, пополнять базы данных, а в ряде случаев и формировать их целесообразно после распознавания при наличии подтверждения правильности решения. Возможна корректировка степени важности отдельных признаков на этапе ввода техники в эксплуатацию в конкретных позиционных районах.

Таким образом, при реализации аппаратуры распознавания с использованием глубокой (содержащей несколько многослойных фильтров) НС понятие эталонного портрета объекта приоб-

ретает более широкое значение. В этом случае эталонный портрет не только должен включать множество описаний признаков  $X_{It}$ , но и учитывать реализуемый алгоритм  $R$ , входящий во множество правил принятия решений о классе радиолокационной цели  $H_{It}$ .

Согласно руководящим документам Министерства обороны РФ обучение стоящих на вооружении РЭС является противоречивой задачей. С одной стороны, производитель, обеспечивая заданные характеристики средств, реализует конкретные алгоритмы, с другой – эти алгоритмы в процессе эксплуатации могут быть подвергнуты коррекции. Без применения дополнительных мер корректировка в ряде случаев может снизить качественные показатели, поэтому необходимо разделить процессы выполнения боевых задач и обучения. С этой целью предусматривается включение в состав РЭС дополнительных элементов, обеспечивающих независимость процесса обучения.

Применительно к НС реализуемые ею алгоритмы распознавания могут отличаться весовыми коэффициентами связей с ассоциативными и реагирующими элементами. Весовые коэффициенты могут быть представлены матрицей  $M_1$ , при технической реализации хранящейся в памяти. В процессе обучения может приниматься решение о необходимости коррекции отдельных элементов матрицы, однако окончательное решение об изменении этих значений необходимо принимать лишь после накопления достаточной статистики. Для этого в составе системы предусматривается дополнительная матрица весовых коэффициентов  $M_2$ , в исходном состоянии полностью идентичная  $M_1$ , значения элементов которой в процессе обучения изменяются. После принятия решения об адекватности измененных значений матрица  $M_1$  изменяется. Этот процесс осуществляется устройством управления весовыми коэффициентами.

Параметры указанной процедуры должны быть определены и регламентированы.

**Результаты.** Структурная схема устройства распознавания при использовании глубокой НС с дополнительной матрицей весовых коэффициентов для реализации задач обучения представлена на рис. 1. Устройство согласования в составе тракта обработки радиолокационной информации

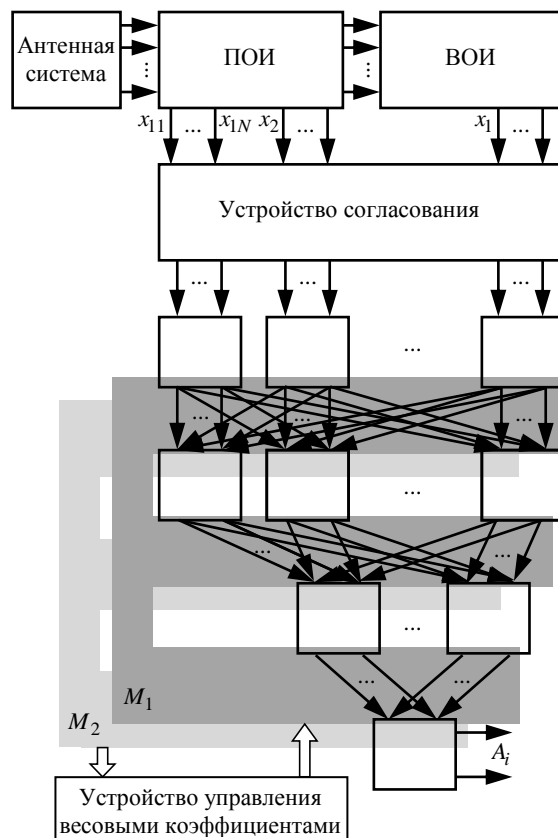


Рис. 1. Структурная схема устройства распознавания при использовании глубокой НС с дополнительной матрицей весовых коэффициентов для реализации задач обучения

Fig. 1. Block diagram of a recognition device using a deep neural network with an additional matrix of weights for the implementation of training tasks

обеспечивает нормировку в группе сигналов, содержащих один признак из общей совокупности  $X_{It}$ , для последующей обработки с целью формирования решения  $A_i$ . Иными словами, устройство согласования совместно с аппаратурой первичной обработки информации ПОИ и вторичной обработки информации ВОИ решает задачу кластеризации [15].

В обучении при распознавании можно выделить 4 основных направления:

1. Стартовое обучение (запись портретов на этапе создания системы из базы, полученной либо экспериментально, либо в процессе имитационного моделирования с использованием информационных технологий).
2. Формирование базы портретов в процессе функционирования системы при подтверждении результатов распознавания и достаточно простой сигнальной обстановке.
3. Пополнение базы портретов в процессе функционирования системы при подтверждении

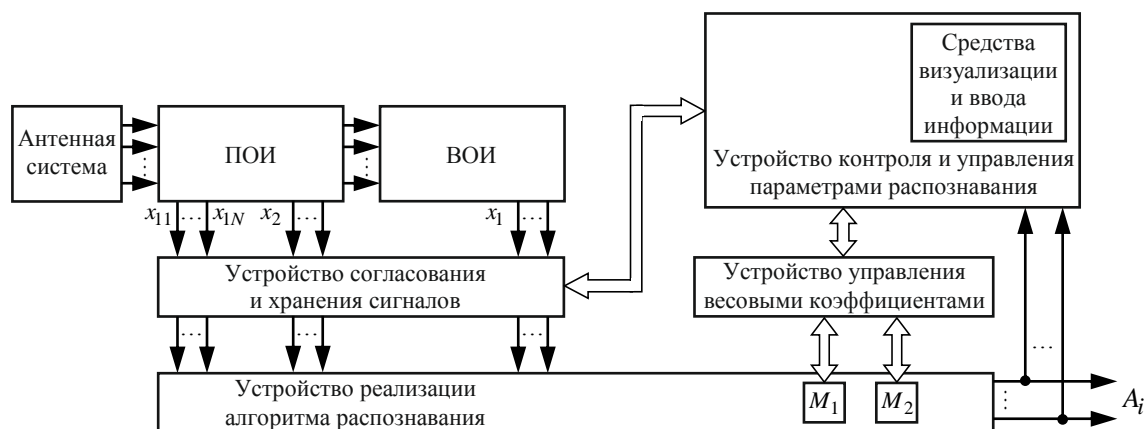


Рис. 2. СРЛР с элементами, обеспечивающими ее обучение

Fig. 2. Radar recognition system with elements providing its training

результатов распознавания и достаточно простой сигнальной обстановке.

4. Корректировка портретов для конкретной позиции с учетом особенностей позиционного района.

Для обеспечения стартового обучения предусмотрено несколько этапов [16]. На первом в качестве обучающих примеров используют цифровые, полученные моделированием фоноцелевой обстановки или оцифровкой подходящих реальных фрагментов. Данные хранятся на жестком диске компьютера. Для оценки адекватности воздействий, поступающих на вход системы, привлекаются эксперты. На этом этапе происходит отработка алгоритмов в псевдореальном времени.

Второй этап отличается от первого тем, что используются аналоговые входные сигналы – те же фрагменты, но хранящиеся на иных носителях. Оцифровка выполняется непосредственно во время работы. Данные поступают с заданной периодичностью, обработка производится в реальном времени.

Третий этап – окончательная проверка и дообучение системы – проводится на основе реальной фоноцелевой обстановки в условиях, максимально приближенных к боевым.

Портреты могут делиться на базовые (фундаментальные) и на индивидуальные для конкретной позиции. Например, для РЭС, размещенных в горной местности, результаты измерения высот целей при распознавании необходимо корректировать (учитывать высоту позиции) для адекватного сравнения с портретом, содержащим информацию о возможностях цели по набору высоты. Коррекцию целесообразно проводить на третьем этапе.

Устройство контроля и управления параметрами распознавания, включающее средства визуализации и ввода информации (рис. 2), обеспечивает реализацию стартового обучения.

Подтверждение достоверности полученных результатов возможно при взаимодействии с РЭС, комплексом средств автоматизации (КСА) Росавиации и получении информации от диспетчерских пунктов и районных центров ЕС ОВД.

При работе РЭС в составе группировки целесообразно предусмотреть возможность обмена портретными базами (без учета сформированных особенностей местности) между однотипными РЭС (рис. 3).

Широкие возможности реализации автоматических алгоритмов обучения НС, применяемых при распознавании, открываются при использовании в радиолокационной системе принципов ЕИП о состоянии воздушной обстановки, когда элементы системы связаны между собой интегрированной цифровой телекоммуникационной сетью.

Принципы ЕИП позволяют при обучении НС использовать достоверную информацию о типах сопровождаемых воздушных судов, поступающую от взаимодействующих средств Минобороны России и Росавиации (рис. 4): модулей про-



Рис. 3. Внешние связи РЭС при обучении системы распознавания в составе группировки

Fig. 3. External communications of radio-electronic equipment during the training of the recognition system as part of a grouping

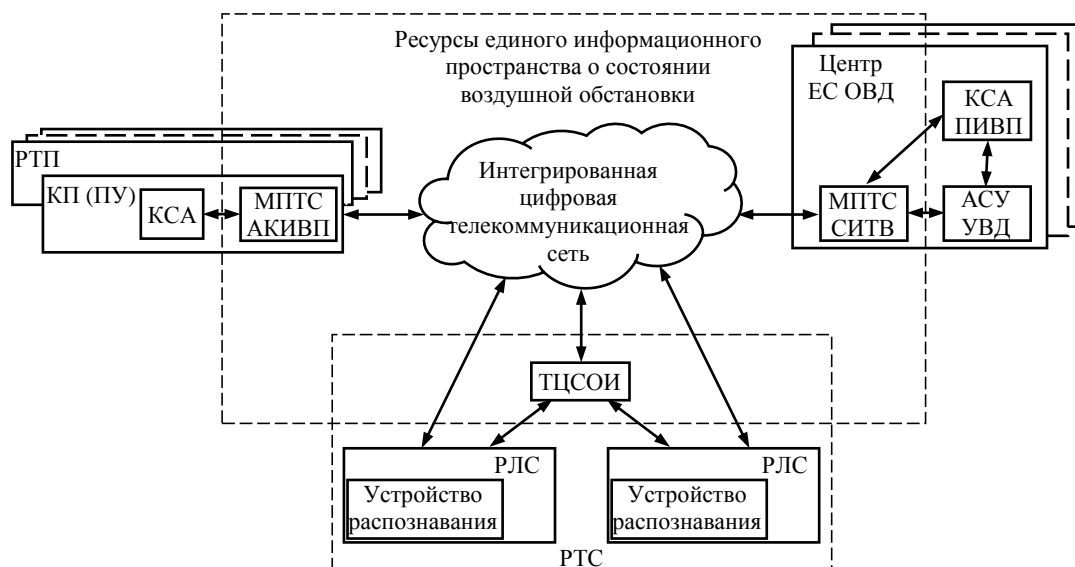


Рис. 4. Элементы, обеспечивающие обучение системы распознавания при работе в составе группировки  
 Fig. 4. Elements providing learning of the recognition system when working as part of a group

граммно-технических средств автоматизации контроля использования воздушного пространства МПТС АКВВП, размещаемых на командных пунктах КП радиотехнических полков РТП, и модулей программно-технических средств системы информационно-технического взаимодействия МПТС СИТВ с автоматизированными системами управления АСУ УВД, а также КСА планирования использования воздушного пространства ПИВП, размещаемых в центрах ЕС ОВД.

В такой схеме взаимодействия могут быть задействованы территориальные центры совместной обработки информации ТЦСОИ радиотехнических средств РТС радиотехнических полков, обеспечивающие централизованный сбор, обработку информации о воздушной обстановке и управление.

При этом, однако, следует учитывать, что такая организация взаимодействия (в интересах

обучения НС и построения интеллектуальных систем распознавания) потребует существенного изменения принципов взаимодействия элементов радиолокационной системы и, как следствие, пересмотра существующих протоколов информационно-технического взаимодействия.

**Заключение.** Таким образом, СРЛР, решающая актуальную в настоящее время задачу распознавания, которая в сложной фоноцелевой обстановке позволяет повысить адекватность оценки обстановки и оптимизировать принимаемые управленческие решения, может развиваться посредством обучения за счет снятия ограничений, связанных с автономностью функционирования РЭС применительно к решению задачи распознавания, а также увеличения количества признаков при применении нейросетевых технологий.

#### Авторский вклад

**Бескостый Дмитрий Федорович** – описание нейронных сетей в системе распознавания и этапов их обучения, рис. 2 и описательная часть.

**Боровиков Сергей Геннадьевич** – аннотация, описание методов и результатов, рис. 1 и описательная часть.

**Ястребов Юрий Васильевич** – введение, заключение, перевод на английский язык.

**Созонтов Илья Александрович** – рис. 3 и описательная часть, рис. 4 и описательная часть, список литературы.

#### Authors' contribution

**Dmitrii F. Beskostyi**, description of neural networks in recognition system and stages of their training, fig. 2 and descriptive part

**Sergei G. Borovikov**, abstract, description of methods and results, fig. 1 and descriptive part.

**Yurii V. Yastrebov**, introduction, conclusion, english translation

**Ilya A. Sozontov**, fig. 3 and descriptive part, fig. 4 and descriptive part, references.



## Список литературы

1. Кобан А. Я., Самотонин Д. Н. Научно-технические проблемы развития федеральной системы разведки и контроля воздушного пространства Российской Федерации и пути их решения // Военная мысль. 2017. № 4. С. 14–19.
2. Tait P. Introduction to Radar Target Recognition / Institution of Electrical Engineers, London, 2005. IET radar series. № 18. 396 p.
3. Радиолокационные системы воздушной разведки, дешифрирование радиолокационных изображений / Л. А. Школьный, Е. Ф. Толстов, А. Н. Детков, О. А. Карпов; ВВИА им. Н. Е. Жуковского, М., 2008. 531 с.
4. Методы радиолокационного распознавания и их моделирование / Я. Д. Ширман, С. А. Горшков, С. П. Лещенко, Г. Д. Братченко, В. М. Орленко // Радиолокация и радиометрия. 2000. № 2. С. 5–65.
5. Татузов А. Л. Нейронные сети в задачах радиолокации. М.: Радиотехника, 2009. 432 с.
6. Толстикова Е. В. Параметрическая оптимизация нелинейных нейронных сетей // Науч. записки Украинского НИИ связи. 2014. № 1. С. 16–21.
7. Хайкин С. Нейронные сети: полный курс. М.: Вильямс, 2006. 1104 с.
8. Барский А. Б. Нейронные сети. Распознавание, управление, принятие решений. М.: Финансы и статистика, 2004. 176 с.
9. Осовский С. Нейронные сети для обработки информации / пер. с польск. И. Д. Рудинского. М.: Финансы и статистика, 2002. 344 с.
10. Тархов Д. А. Нейронные сети. Модели и алгоритмы. Кн. 18. Сер. Нейрокомпьютеры и их применение. М.: Радиотехника, 2005. 256 с.
11. Математические модели радиолокационных сигналов, отраженных от воздушных целей разных классов / В. А. Абатуров, О. В. Васильев, В. А. Ефимов, В. Е. Макаев // Радиотехника. 2006. № 7. С. 28–33.
12. Построение и обучение радиально-базисных нейросетей для приема телеграфно-кодовых конструкций / Д. А. Чистопрудов, В. А. Козлов, М. Р. Бибарсов, Д. А. Потягов, Н. Я. Карасик // Изв. вузов России. Радиоэлектроника. 2017. № 6. С. 28–35.
13. Макаев В. Е., Васильев О. В. Метод радиолокационного распознавания воздушной цели по турбинному эффекту // Радиотехника. 2000. № 11. С. 30–33.
14. Жердев Д. А., Казанский Н. Л., Фурсов В. А. Распознавание объектов по диаграммам электромагнитного рассеяния электромагнитного излучения на основе метода опорных пространств // Компьютерная оптика. 2014. № 38. С. 503–510.
15. Митрофанов Д. Г. Применение нейросетевой технологии для распознавания целей по радиолокационным изображениям // Нейрокомпьютеры: разработка и применение, 2006. № 3. С. 60–68.
16. Костоусов В. Б., Костоусов А. В. Моделирование процесса наведения движущихся объектов по радиолокационным изображениям // Гироскопия и навигация. 2004. Т. 2. С. 37–47.

## Информация об авторах

**Бескостый Дмитрий Федорович** – кандидат технических наук (2009), доцент (2010), ведущий научный сотрудник 25-го научно-исследовательского отдела НИЦ ЦНИИ ВВС Министерства обороны Российской Федерации. Автор 64 научных работ. Сфера научных интересов – радиолокация.

Адрес: 25 НИО НИЦ ЦНИИ ВВС Министерства обороны РФ, наб. реки Фонтанки, д. 10, Санкт-Петербург, 191028, Россия

E-mail: bescdim@rambler.ru

**Боровиков Сергей Геннадьевич** – кандидат технических наук (2007), старший научный сотрудник 25-го научно-исследовательского отдела НИЦ ЦНИИ ВВС Министерства обороны Российской Федерации. Автор более 30 научных работ. Сфера научных интересов – алгоритмы обработки сигналов, радиолокационные системы.

Адрес: 25 НИО НИЦ ЦНИИ ВВС Министерства обороны РФ, наб. реки Фонтанки, д. 10, Санкт-Петербург, 191028, Россия

E-mail: bors509@gmail.com

<https://orcid.org/0000-0003-0343-0527>

**Ястребов Юрий Васильевич** – кандидат технических наук (1987), начальник 25-го научно-исследовательского отдела НИЦ ЦНИИ ВВС Министерства обороны Российской Федерации. Автор более 60 научных работ. Сфера научных интересов – алгоритмы обработки радиолокационной информации; распознавание, измерение координат; многопозиционные радиолокационные станции; сверхширокополосная радиолокация.

Адрес: 25 НИО НИЦ ЦНИИ ВВС Министерства обороны РФ, наб. реки Фонтанки, д. 10, Санкт-Петербург, 191028, Россия

E-mail: vanagas@bk.ru

**Созонтов Илья Александрович** – адъюнкт Военной академии воздушно-космической обороны им. Маршала Советского Союза Г. К. Жукова Министерства обороны Российской Федерации. Окончил Военно-воздушную инженерную академию им. проф. Н. Е. Жуковского (2008). Автор девяти научных публикаций. Сфера научных интересов – радиолокационные системы, распознавание воздушных объектов.

Адрес: Военная академия воздушно-космической обороны, ул. Жигарева, д. 50, г. Тверь-22, 170022, Россия

E-mail: ilya.sozontov@gmail.com



## References

1. Coban A. Y., Samotokin D. N. Scientific-Technical Problems of Development of the Federal System Exploration and Control of the Airspace of the Russian Federation and Ways to Solve Them. Military Thought. 2017, no. 4, pp. 14–19. (In Russ.)
2. Tait P. Introduction to Radar Target Recognition. London: Institution of Electrical Engineers. 2005 IET radar series, no. 18, 396 p.
3. Shkolnyi L. A., Tolstov E. F., Detkov A. N., Karpov O. A. Radar System of Aerial Reconnaissance, Interpretation of Radar Images. Moscow, VVIA n. a. N. E. Zhukovsky. 2008. 531 p. (In Russ.)
4. Shirman Ya. D., Gorshkov S. A., Leshchenko C. P., Bratchenko G. D., Orlenko V. M. Methods of Radar Recognition and their Modeling. Radar and Radiometry. 2000, no. 2, pp. 5–65. (In Russ.)
5. Tatuzov A. L. Neural Networks in Radar Problems. Moscow, Radio engineering, 2009, 432 p. (In Russ.)
6. Tolstikova E. B. Parametric Optimization of Nonlinear Neural Networks. Scientific notes of the Ukrainian research Institute of communications. 2014, no. 1, pp. 16–21. (In Russ.)
7. Haikin. S. Neural networks: full course. Moscow, Williams, 2006, 1104 p. (In Russ.)
8. Barsky A. B. Neural Networks. Recognition, Management, Decision-Making. Moscow, Finance and statistics, 2004, p. 176. (In Russ.)
9. Osovsky S. Neural Networks for Information Processing. Trans. from Polish by I. D. Rudinsky. Moscow, Finance and Statistics, 2002, 344 p. (In Russ.)
10. Tarkhov D. A. *Neironnye seti. Modeli i algoritmy* [Neural Networks. Models and Algorithms]. Moscow, Radiotekhnika, 2005, 256 p. (In Russ.)
11. Abaturov V. A., Vasiliev O. V., Efimov V. A., Makaev V. E. Mathematical Models of Radar Signals Reflected from Air Targets of Different Classes. Radio engineering. 2006, no. 7, p. 28–33. (In Russ.)
12. Chistoprudov D. A., Kozlov V. A., Bibarsov M. R., Potyagov D. A., Karasik N. Ya. Construction and Training of Radial-Based Neural Networks for Receiving Telegraph and Code Structures. Journal of the Russian Universities. Radioelectronics. 2017, no. 6, pp. 28–35. (In Russ.)
13. Makaev V. E., Vasiliev O. V. Method of Radar Recognition of Air Targets by Turbine Effect. Radio engineering. 2000, no. 11, pp. 30–33. (In Russ.)
14. Zherdev D. A., Kazansky N. L., Fursov V. A. Recognition of Objects by Electromagnetic Scattering Diagrams of Electromagnetic Radiation Based on the Method of Reference Spaces. Computer Optics. 2014, no. 38, pp. 503–510. (In Russ.)
15. Mitrofanov D. G. Application of Neural Network Technology for Target Recognition by Radar Images. Neurocomputers: development and application, 2006, no. 3, pp. 60–68. (In Russ.)
16. Kostousov V. B., Kostousov A.V. Modeling of the Process of Guidance of Moving Objects by Radar Images. Gyroscopy and Navigation. 2004, vol. 2, pp. 37–47. (In Russ.)

## Information about the authors

**Dmitrii F. Beskostyi** – Cand. Sci. (Eng.) (2009), Associate Professor (2010), Leading Researcher in 25 SRU SIC (St Petersburg) Central Research Institute of the Air Force of the Russian Ministry of Defense. The author of 64 scientific publications. Area of expertise: radiolocation.

Address: Central Research Institute of the Air Force of the Russian Ministry of Defense, 10 Fontanka River, St Petersburg 191028, Russia

E-mail: bescdim@rambler.ru

**Sergei G. Borovikov** – Cand. Sci. (Eng.) (2007), Senior Researcher in 25 SRU SIC (St Petersburg) Central Research Institute of the Air Force of the Russian Ministry of Defense. The author of more than 30 scientific publications. Area of expertise: signal processing algorithms; radar systems.

Address: Central Research Institute of the Air Force of the Russian Ministry of Defense, 10 Fontanka River, St Petersburg 191028, Russia

E-mail: bors509@gmail.com

<https://orcid.org/0000-0003-0343-0527>

**Yurii V. Yastrebov** – Cand. Sci. (Eng.) (1987), Head of 25 SRU SIC (St Petersburg) Central Research Institute of the Air Force of the Russian Ministry of Defense. The author of more than 60 scientific publications. Area of expertise: algorithms for processing radar information; recognition; measurement of coordinates; multi-position radar stations; ultra-wideband radar.

Address: Central Research Institute of the Air Force of the Russian Ministry of Defense, 10 Fontanka River, St Petersburg 191028, Russia

E-mail: vanagas@bk.ru

**Ilya A. Sozontov** – Adjunct of Military Aerospace Defense Academy. He graduated from Zhukovsky Air Force Engineering Academy (2008). The author of 9 scientific publications. Area of expertise: radar systems, recognition of airborne objects.

Address: Military Aerospace Defense Academy, 50 Zhigareva Str., Tver-22 170022, Russia

E-mail: ilya.sozontov@gmail.com