

---

---

# Волновая электроника и инфокоммуникационные системы

---

---

В рубрике представлены статьи, подготовленные по материалам XXVI Международной научной конференции «Волновая электроника и инфокоммуникационные системы» (WECONF-2025), проходившей в Санкт-Петербурге (Россия) с 12 по 16 мая 2025 г. Организаторы и спонсоры конференции: Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения (ГУАП), АО «Морион», Министерство образования и науки РФ, Institute of Electrical and Electronics Engineers (IEEE), Научно-технологический центр уникального приборостроения РАН (НТЦ УП РАН). Председатель организационного комитета конференции – академик РАН А.С. Бугаев (Россия), сопредседатели – ректор ГУАП, д.э.н., профессор Ю.А. Антохина (Россия), президент ГУАП, д.т.н., профессор А.А. Оводенко (Россия), д.т.н., профессор С.В. Кулаков (Россия).

Научная статья  
УДК 621.396.969  
DOI: <https://doi.org/10.18127/j00338486-202508-01>

## Методика обнаружения, определения координат и селекции объектов в процессе формирования кадров передних зон в двухпозиционной системе бортового контроля

С.А. Ненашев<sup>1</sup>, А.Р. Бестугин<sup>2</sup>, М.В. Гамов<sup>3</sup>, И.А. Киршина<sup>4</sup>, В.А. Ненашев<sup>5</sup>

<sup>1,2,4,5</sup> Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения (Санкт-Петербург, Россия)

<sup>3</sup> Военная академия воздушно-космической обороны имени Маршала Советского Союза Г.К. Жукова (г. Тверь, Россия)

<sup>1</sup> [nenashev\\_serгей178@mail.ru](mailto:nenashev_serгей178@mail.ru); <sup>2</sup> [fresguap@mail.ru](mailto:fresguap@mail.ru); <sup>3</sup> [gamov.m.v@bk.ru](mailto:gamov.m.v@bk.ru);

<sup>4</sup> [ikirshina@mail.ru](mailto:ikirshina@mail.ru); <sup>5</sup> [nenashev.va@yandex.ru](mailto:nenashev.va@yandex.ru)

---

### Аннотация

**Постановка проблемы.** На сегодняшний день оперативное получение достоверных и высокоинформативных данных от авиационных систем играет важную роль при картографировании подстилающей поверхности. При этом радиолокационные кадры высокого разрешения на борту малого летательного аппарата требуется не только сформировать, но и осуществить их интеллектуальный анализ с применением нейросетевых подходов для обеспечения автоматизированности процесса бортового контроля. Процесс автоматического контроля объектов включает несколько этапов обработки: обнаружение, селекцию, определение координат и их распознавание. На реализацию каждого из перечисленных этапов требуется определенное время, как на формирование радиолокационных кадров, так и на их интеллектуальный анализ. Из-за последовательного выполнения этапов формирования и обработки кадров, время общей реализации автоматизированной системы бортового контроля увеличивается, что нежелательно, так как для подобных систем требуется обеспечить оперативность их функционирования.

**Цель.** Представить оперативную методику обнаружения, распознавания, определения координат физических наземных объектов и параметров их движения в процессе формирования радиолокационных кадров передних зон с обеспечением высокой точности и полноты формируемых данных об объектах интереса на базе двухпозиционной системы бортового контроля.

**Результаты.** Разработана методика формирования и обработки радиолокационных кадров высокого разрешения в передней зоне обзора каждой малогабаритной бортовой РЛС, входящей в двухпозиционную систему с параллельной реализацией процессов обнаружения, селекции и распознавания наземных объектов интереса, позволяющая определять их координаты и параметры движения к концу формирования кадра в целях повышения быстродействия системы в целом и минимизации времени выполнения этапов формирования обработки кадров.

**Практическая значимость.** Предложенная методика применима при поиске наземных объектов в зонах с чрезвычайными ситуациями, когда требуется повышенная оперативность полетного задания, для контроля природных и техногенных объектов (состояния ледяных полей, дешифрирования пожаров, структурных и сезонных изменений).

### Ключевые слова

*Системы авиационного контроля, обнаружение, селекция, распознавание, определение координат, минимизация времени, радиолокационные кадры, высокое разрешение, достоверность измерений, автоматизация, групповое техническое зрение*

**Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда (проект № 24-79-10259).**

**Для цитирования**

Ненашев С.А., Бестугин А.Р., Гамов М.В., Киршина И.А., Ненашев В.А. Методика обнаружения, определения координат и селекции объектов в процессе формирования кадров передних зон в двухпозиционной системе бортового контроля // Радиотехника. 2025. Т. 89. № 8. С. 5–14. DOI: <https://doi.org/10.18127/j00338486-202508-01>

A brief version in English is given at the end of the article

**Введение**

На сегодняшний день актуальны теоретические и практические разработки, связанные с повышением разрешения и скорости формирования видеопоследовательностей радиолокационных кадров (РЛК) [1]. В подобных системах требуется обеспечить их автоматизированность при реализации бортового контроля за физическими наземными объектами (ФНО), в особенности в зонах с чрезвычайными ситуациями (ЧС) на базе малых летательных аппаратов (МЛА) с малыми бортовыми РЛС (МБРЛС). Основная задача – обеспечить оперативный контроль за ФНО в условиях ограниченной видимости с определением их координат при проведении поисково-спасательных операций в зонах с ЧС.

Существующие авиационные системы бортового контроля могут выполнять автоматизацию процесса обнаружения, распознавания ФНО, определения их координат, однако, при этом не учитываются требования сокращения времени этих процессов для обеспечения оперативности их функционирования, что является проблемой, требующей анализа и конкретного решения. Поэтому необходимо проанализировать этапы формирования и обработки РЛК с целью выявления возможности уменьшения временных затрат на их реализацию.

Как правило, после этапа формирования самого РЛК, реализуются следующие последовательные задачи:

- 1) обнаружение физических наземных объектов (ФНО);
- 2) селекция ФНО;
- 3) определение координат ФНО;
- 4) оценка параметров движения ФНО;
- 5) классификация подстилающих поверхностей, на которых находится ФНО;
- 6) распознавание ФНО до уровня типа [2];
- 7) прогнозирование вероятных положений и маршрута движения ФНО [3].

При этом кадры высокого разрешения требуется не только сформировать, но и осуществить их интеллектуальный анализ, например, на основе нейросетевых подходов для обеспечения автоматизированности авиационной системы контроля в целом [4].

Процесс автоматического распознавания объектов интереса включает в себя обнаружение, селекцию и непосредственно распознавание, в котором обнаружение реальных ФНО на РЛК – одно из наиболее сложных направлений исследования в области формирования последовательности РЛК.

Реализация каждой из перечисленных задач требует определенного числа операций при обработке собираемых данных. Следовательно, время реализации всего перечня задач увеличивается, несмотря на требование уменьшения времени их общей реализации.

**Ц е л ь р а б о т ы** – представить методику формирования последовательности РЛК высокого разрешения с параллельной реализацией алгоритмов обнаружения, селекции, распознавания, определения координат ФНО и параметров их движения в процессе формирования каждого кадра с обеспечением высокой точности, достоверности и полноты формируемых данных о ФНО, находящихся в зоне с ЧС.

В данной работе предлагается новый подход, позволяющий формировать последовательность РЛК высокого разрешения для передней зоны обзора (ПЗО) с одновременным обнаружением, селекцией, распознаванием, а также определением координат наземных объектов и параметров их движения, т.е. в процессе формирования кадра. Это в совокупности позволяет сократить время выполнения полетного задания при реализации миссий, для которых оперативность выполнения имеет чрезвычайно важное значение. Особенно такая реализация необходима при проведении поисково-спасательных операций в зонах ЧС как природного, так и техногенного характера, в том числе и в труднодоступных для человека местах и районах, представляющих опасность для жизни людей.

Оперативное формирование динамически меняющейся во времени радиолокационной обстановки с ее отображением в процессе авиационного контроля реализуется путем применения междисциплинарного подхода, при котором обеспечивается минимизация времени выполнения полетного задания за счет:

отображения ПЗО по курсу движения МЛА, объединенных во взаимодействующую группу, так как не тратится время на маневры носителей малогабаритных бортовых РЛС;

обеспечения автоматизированности процесса контроля за зоной ЧС и находящимися в ней объектами путем автоматической классификации территорий и распознавания ФНО с одновременным определением координат;

одновременного (параллельного) выполнения в процессе синтеза РЛК задач 1–5.

Кроме того, при проведении поисково-спасательных операций оперативно получаемые данные о наблюдаемой зоне и ФНО должны обладать требуемой достоверностью и полнотой, а также высокой точностью при их отображении на экране оператора. Достоверность данных, в свою очередь, обеспечивается с помощью корректировки на различных уровнях обработки (первичной, вторичной и третичной) радиолокационной информации: на уровне обработки сигналов, на уровне обработки отдельных кадров и на уровне межкадровой обработки.

### **Схема обнаружения, определения координат и селекции объектов в процессе формирования радиолокационных кадров передних зон**

Алгоритмы обнаружения ФНО на сформированных кадрах методом синтеза апертуры антенны можно разделить алгоритмы, основанные на обнаружении по одному [5] и по нескольким признакам [6].

На практике все алгоритмы обнаружения ФНО на РЛК реализуются после того, как РЛК высокого разрешения уже сформирован, т.е. обнаружения ФНО никак не связано с формированием РЛК, поэтому при их реализации затрачивается больше времени, чем в случае, если бы они выполнялись в процессе формирования РЛК.

При проведении поисково-спасательных операций часто требуется подсвечивать только конкретные области интереса, а именно: зоны ЧС, где находится ФНО, транспортные средства, здания и другие места их прогнозируемого передвижения [7–10]. Следует избегать картографирования областей подстилающей поверхности, в которых нет интересующих объектов, так как на это тоже затрачивается время при проведении операций оперативного характера. Таким образом, в процессе формирования РЛК целесообразно осуществлять обнаружение областей с объектами интереса для реализации фокусировки конкретно этих зон для обеспечения в них высокого разрешения. Остальные области, не представляющие большого интереса (например, места высокого горного массива или обширных площадей водоемов) надо или игнорировать, или формировать эти фрагменты РЛК без фокусировки, т.е. с низким разрешением.

Рассмотрим новый подход к формированию РЛК, в котором одновременно, т.е. в процессе синтеза апертуры антенны (САА) реализуются обнаружение, селекция и распознавание ФНО интереса с определением их координат и параметров движения.

Схема, реализующая алгоритмы обнаружения, определения координат и селекции ФНО в процессе формирования РЛК передних зон, представлена на рис. 1.

### **Методика совместного обнаружения и определения координат ФНО в двухпозиционной пространственно-распределенной системе МБРЛС**

Методика обнаружения, селекции и определения параметров ФНО в процессе формирования РЛК в режиме САА для ПЗО, что реализуется на базе МБРЛС, входящих в двухпозиционную систему [10–15] (рис. 2), включает в себя следующую последовательность действий.

1. Во время выполнения полетного задания два МЛА движутся практически параллельными курсами. На каждом борту МБРЛС их антенные системы зондируют обследуемую ПЗО соседней МБРЛС, (рис. 3).

Описанная далее последовательность действий соответствует рис. 3,а.

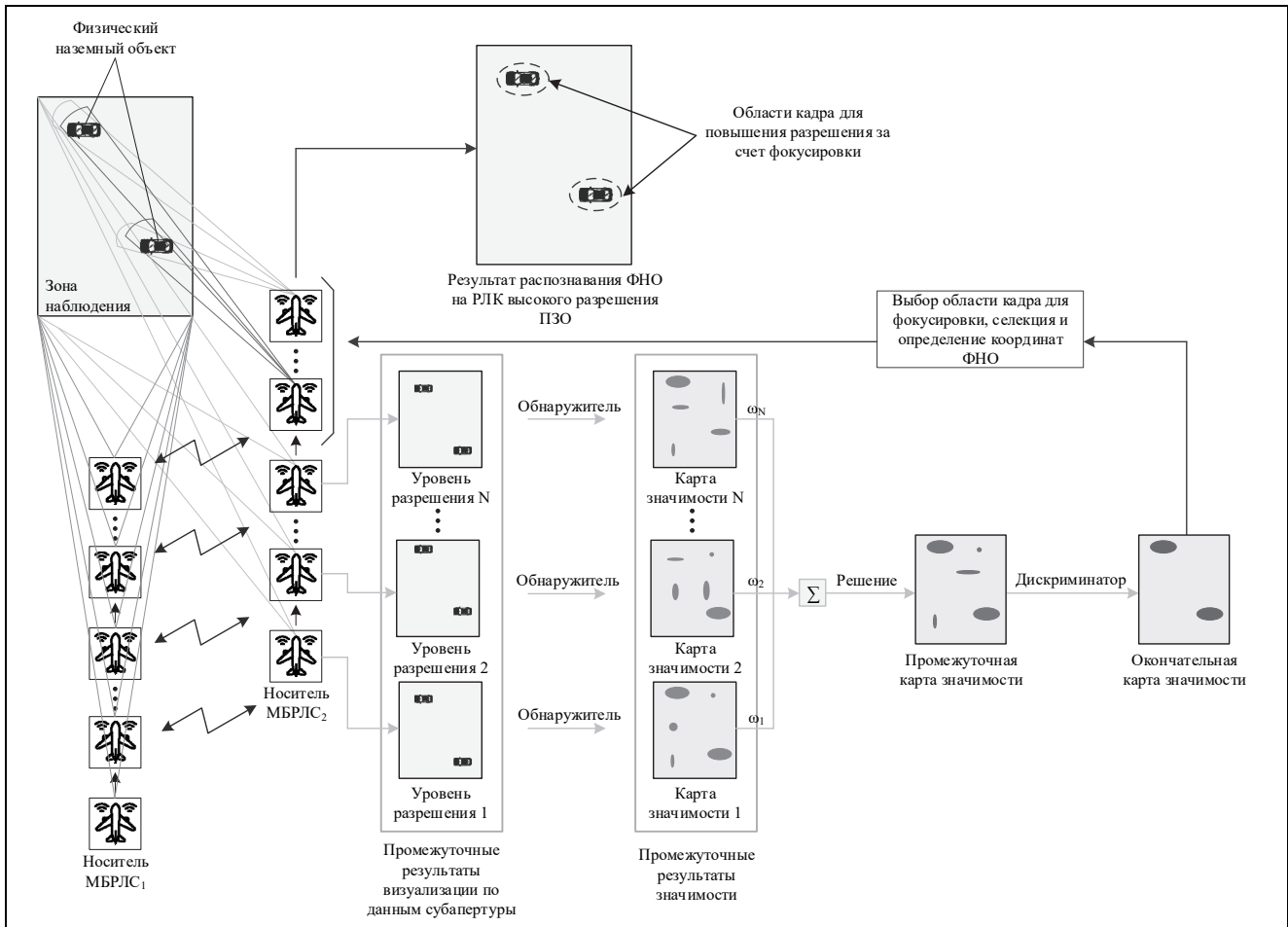


Рис. 1. Схема реализации алгоритмов обнаружения, определения координат и селекции физических наземных объектов в процессе формирования радиолокационных кадров высокого разрешения

Fig. 1. Scheme of realization of algorithms for detection, coordinate determination and selection of physical ground objects in the process of formation of high-resolution radar frames

2. Излучаемые импульсные маркированные сигналы  $Sz_i$  с первой МБРЛС<sub>1</sub> (основной) и второй МБРЛС<sub>2</sub> (дополнительной) МБРЛС отражаются от поверхности ПЗО и поступают в антенны и приемные устройства той МБРЛС, с которой было осуществлено их излучение. Далее, пройдя высокочастотную обработку в аналоговой части приемника, они поступают на аналогово-цифровой преобразователь, после чего в вычислителе осуществляется их накопление  $S_i$ . По ним формируют текущие РЛК с грубым разрешением по данным текущей синтезированной субапертуры  $Su_i$ .

3. На каждой МБРЛС осуществляется накопление сигналов  $S_i$  для формирования РЛК на основе метода САА. При этом параллельно реализуются отображения дорожек дальностей (ДД), где в каждой дорожке происходит процесс обнаружения элементов, превышающих заданный порог для РЛК текущего разрешения с грубым определением координат дальности  $R_i$ , азимута  $\alpha_i$ . Т.е. во время применения алгоритма формирования каждого текущего РЛК еще до пересылки данных текущих синтезированных субапертур  $Su_i$  между МБРЛС осуществляется определение положения каждой ДД в полярной системе координат (ПСК) на борту каждой МБРЛС, входящей в двухпозиционную пространственно-распределенную систему (ДПРС). При этом координата дальности  $R_{1i}, R_{2i}$  до каждой дорожки определяются с высокой точностью, соответствующей длительности  $\tau_i$  сжатого сигнала  $S_i$ . Для антенны МБРЛС<sub>1</sub>, направленной в ПЗО, точность азимутальной координаты  $\alpha_i$  соответствует ширине диаграммы направленности (ДН)  $\Delta\theta_1$ , а для МБРЛС<sub>2</sub> линейное разрешение  $\Delta\alpha$  – длине текущей синтезированной апертуры  $\alpha_{2i}$  (см. рис. 3,а).

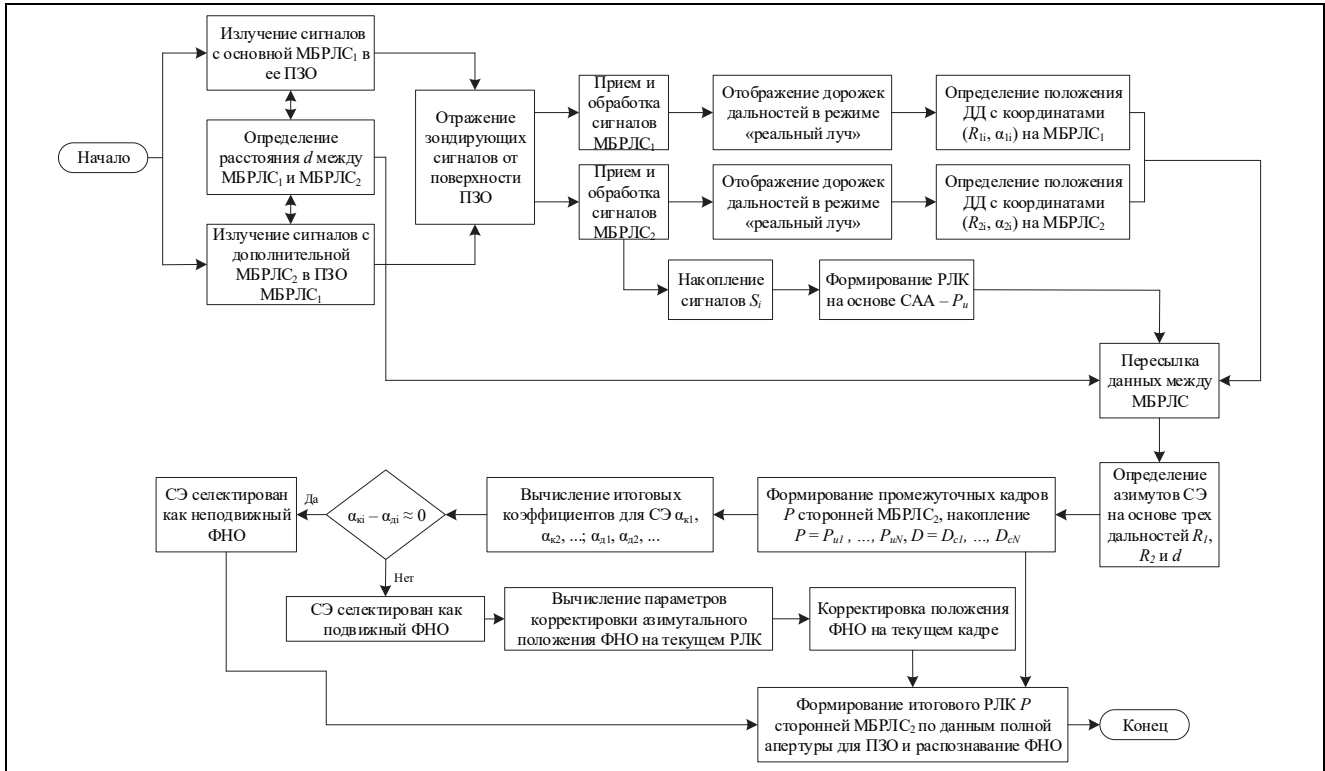


Рис. 2. Схема разработанной методики  
 Fig. 2. Scheme of the developed methodology

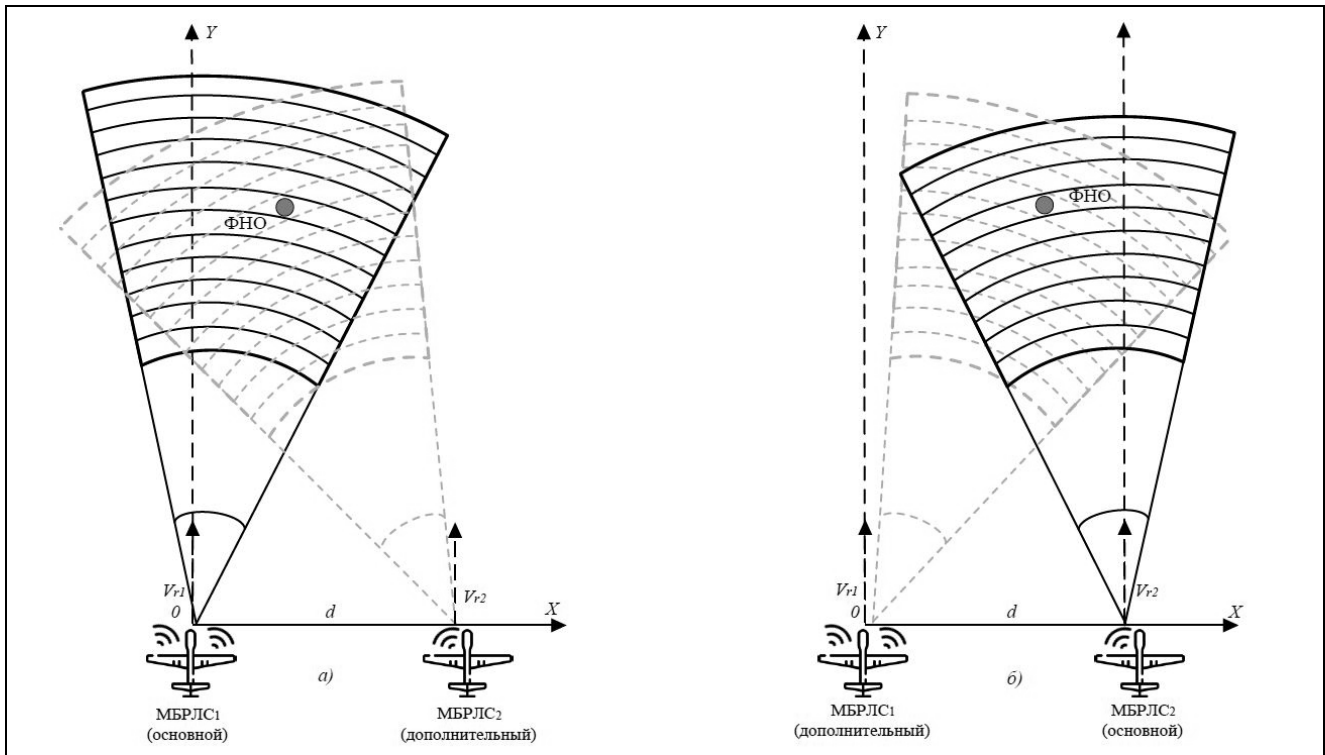


Рис. 3. Схемы взаимного расположения малогабаритных бортовых РЛС1 и РЛС2, передней зоны обзора и физического наземного объекта: а – освещена передняя зона обзора для РЛС1; б – освещена передняя зона обзора для РЛС2  
 Fig. 3. Schemes of mutual arrangement of small-size airborne radar1, small-size airborne radar2, forward viewing area and physical ground object: a – case of illumination of forward viewing area for small-size airborne radar1 b – case of illumination of forward viewing area for small-size airborne radar2

4. По беспроводным каналам связи происходит обмен данными (расстояние  $d$  между МБРЛС ( $R_1, \alpha_1$ ) от МБРЛС<sub>1</sub> и ( $R_2, \alpha_2$ ) от МБРЛС<sub>2</sub>), после чего определяются реальные и ложные позиции совместных элементов (СЭ), находящиеся в ПЗО в ПСК каждой МБРЛС.

Случаи освещения в режиме «реальный луч» двумя позициями с иллюстрациями возникновения ложных отметок о СЭ показаны на рис. 4.

5. Все определенные СЭ записываются в пиксельную матрицу  $P_u$  с присвоением каждому СЭ коэффициента значимости  $e_r$ , сохраняемые в матрице обнаружения  $D_c$ , т.е. в каждый период приема импульсного сигнала, формируются следующие текущие выходные данные: матрицы пикселей с их привязкой к локальным ПСК каждой МБРЛС  $P_{u1}, P_{u2}, \dots, P_{uN}$  и матрицы обнаружения СЭ  $D_{c1}, D_{c2}, \dots, D_{cN}$ :

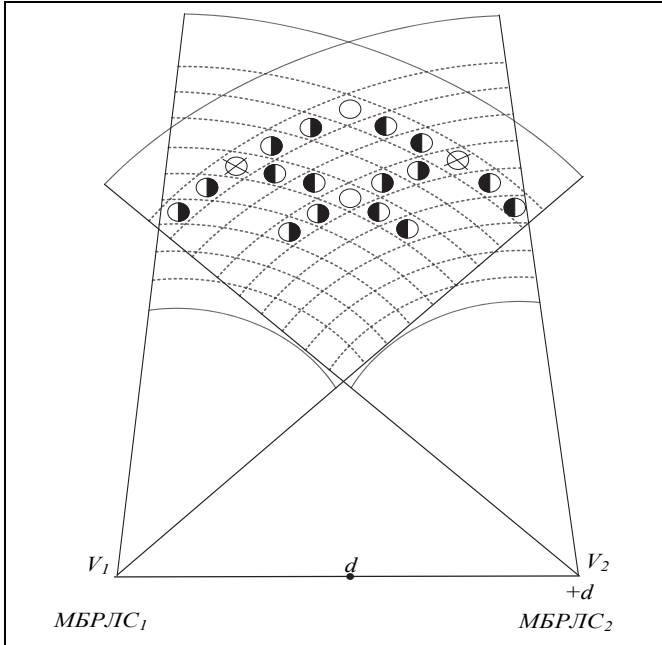


Рис. 4. Обнаружение истинных и ложных СЭ в двухпозиционной системе бортовых МБРЛС (геометрия задачи): кружки – реальные СЭ; кружки с крестиком – ложное обнаружение СЭ  
 Fig. 4. Detection of true and false cooperative elements (CE) in a two-position small airborne system (task geometry): circles – real CEs; circles with a cross – false detection of CEs

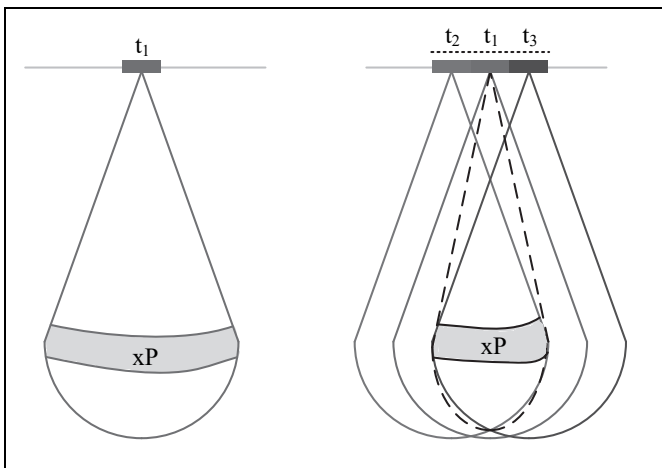


Рис. 5. Графическое представление естественного повышения разрешения кадров по данным от одной и от нескольких суб-апертур  
 Fig. 5. Representation of natural frame resolution enhancement based on data from one or more sub-apertures

формируются следующие текущие выходные данные: матрицы пикселей с их привязкой к локальным ПСК каждой МБРЛС  $P_{u1}, P_{u2}, \dots, P_{uN}$  и матрицы обнаружения СЭ  $D_{c1}, D_{c2}, \dots, D_{cN}$ :

$$P_{u1} = \begin{bmatrix} 245 & 125 & 123 & 172 \\ 49 & 235 & 231 & 056 \\ 77 & 0,46 & 20 & 52 \\ 63 & 223 & 9 & 07 \end{bmatrix},$$

$$D_{c1} = \begin{bmatrix} e_{r11} & e_{r12} & e_{r13} & e_{r14} \\ e_{r21} & e_{r22} & e_{r23} & e_{r24} \\ e_{r31} & e_{r32} & e_{r33} & e_{r34} \\ e_{r41} & e_{r42} & e_{r43} & e_{r44} \end{bmatrix} =$$

$$= \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & 0,72 \\ 0 & 0 & 0,67 & 0 \\ 0 & 0,46 & 0 & 0 \\ 0 & 0,23 & 0 & 0 \end{bmatrix}$$

6. По мере повышения азимутального разрешения каждого синтезированного кадра  $P_{u1}, P_{u2}, \dots, P_{uN-1}$  часть ложных обнаружений СЭ устраняется естественным образом (рис. 5). Это происходит за счет того, что по мере накопления данных для синтезирования субапертур повышается азимутальное разрешение, вследствие чего пересечений ДД ставится меньше и, следовательно, меньше ложных СЭ.

7. Во время формирования промежуточных кадров  $P = P_{u1}, P_{u2}, \dots, P_{uN-1}$  сторонней МБРЛС<sub>2</sub> с грубым азимутальным разрешением осуществляют их накопление в структуре данных  $P$ . Одновременно с этим также накапливаются матрицы обнаружения РСЭ в структуре  $D = D_{c1}, D_{c2}, \dots, D_{cN}$ .

8. После накопления достаточного набора матриц в структурах  $P$  и  $D$  вычисляют итоговые коэффициенты для РСЭ с одними и теми же координатами, в результате чего принимается решение о реальности или ложности РСЭ.

9. В процессе формирования РЛК азимутальное положение движущихся РСЭ  $\alpha_{д1}, \alpha_{д2}, \alpha_{д3}, \dots, \alpha_{дN-1}$  сдвигается по азимуту относительно своего реального положения на крайних кадрах  $P_{uN-3}, P_{uN-2}, P_{uN-1}$  (имеющих высокое азимутальное разрешение). У первых кадров  $P_{u1}, P_{u2}, P_{u3}, \dots$  сдвиг по азимуту отсутствует, а азимутальное положение обнаруженных РСЭ  $\alpha_{к1}, \alpha_{к2}, \alpha_{к3}, \dots$  определяется корректно за счет наличия дальностей  $R_1, R_2$  и  $d$ .

10. После этого оценивается динамика нарастания разницы между азимутами массивов для каждого РСЭ  $\alpha_{ki}$  и  $\alpha_{di}$ , на основе которой выполняют их селекцию еще до окончания формирования итогового РЛК по данным от полной апертуры. При этом, если  $\alpha_{ki} - \alpha_{di} \approx 0$ , то РСЭ считается неподвижным. Иначе РСЭ является движущимся и его азимутальную позицию требуется уточнить для коррекции его положения на реальное.

12. Далее только к этим областям, в которых были обнаружены ФНО, применяется алгоритм автофокусировки для сокращения времени обработки, а также их нейросетевое распознавание [1, 2, 16].

Аналогичные действия осуществляются для зеркального освещения ПЗО МБРЛС<sub>2</sub> (см. рис. 3,б). В этом случае МБРЛС<sub>2</sub> становится основной, а МБРЛС<sub>1</sub> – дополнительной, выполняющей формирование РЛК за счет САА в переднебоковой зоне обзора по отношению к своему ракурсу, что также является ПЗО для МБРЛС<sub>2</sub>. Формируется РЛК с выделенными областями, в месте, где были обнаружены ФНО с высоким разрешением, что расширяет функциональные возможности каждой отдельной МБРЛС.

Критерием успешной реализации представленной методики на практике является сокращение времени полетного задания на 26%. Совместно с уменьшением временных затрат на вышеописанные процессы обеспечивается высокое разрешение РЛК ПЗО и высокая точность определения координат обнаруженных ФНО. При этом доля верно распознанных ФНО нейросетевым путем составляет более 90% [16].

### Заключение

Данное решение в совокупности с интеллектуальными алгоритмами обработки кадров позволяет повысить скорость поиска при определении координат и распознавании ФНО, а также обеспечить полноту измеряемых данных о них, в том числе в автоматизированном режиме функционирования, практически без участия оператора.

Разработанная методика оперативного и высокоточного авиационного контроля зон земной поверхности предназначена для обеспечения спасательных операций при поиске ФНО, в частности, людей, а также в целях прогнозирования их маршрутов движения в труднодоступных местах, в случаях стихийных бедствий и техногенных катастроф. Это позволит в ряде подобных случаев, представляющих особую опасность для жизнедеятельности людей, оперативно их найти и тем самым спасти многие жизни.

### Список источников

1. *Klemm R.* (Ed.). Novel Radar Techniques and Applications. V. 2. Waveform Diversity and Cognitive Radar, and Target Tracking and Data Fusion. London. Scitech Publishing. 2017. 553 p.
2. *Ненашев В.А., Сенцов А.А.* Пространственно-распределенные системы радиолокационного и оптического мониторинга. Монография. СПб: ГУАП. 2022. 191 с.
3. *Nenashev V.A., Sentsov A.A., Shepeta A.P.* Formation of Radar Image the Earth's Surface in the Front Zone Review Two-Position Systems Airborne Radar // 2019 Wave Electronics and its Application in Information and Telecommunication Systems (WECONF). Saint-Petersburg, Russia. 2019. P. 1–5. <http://doi.org/10.1109/weconf.2019.8840641>.
4. *Nenashev V.A., Kharykov I.G.* Formation of Fused Images of the Land Surface from Radar and Optical Images in Spatially Distributed On-Board Operational Monitoring Systems // Journal of Imaging. V. 7. № 12: 251. P. 1–20. <https://doi.org/10.3390/jimaging7120251>.
5. Патент № 2560082 (РФ), МПК G01S 13/90. Способ фронтального синтезирования апертуры антенны земной поверхности с исключением слепых зон в передней зоне с помощью многопозиционной радиолокационной системы. / *Подоплекин Ю.Ф., Шенета А.П., Ненашев В.А.*; заявитель и патентообладатель ГУАП. № 2014100672/07; заявл. 09.01.2014; опубл. 20.08.2015. Бюл. №23. 8 с.
6. Патент № 2703996 (РФ), МПК G01S 13/90. Способ локации целей в передних зонах обзора бортовых радиолокационных станций двухпозиционной радиолокационной системы. / *Коржавин Г.А., Ненашев В.А., Шенета А.П., Подоплекин Ю.Ф.*

- Давинчук А.Г.; заявитель и патентообладатель АО «Концерн «Гранит-Электрон». № 2019108828; заявл. 26.03.2019; опубл. 06.05.2019, Бюл. №13. 8 с.
7. Патент № 2760873 (РФ), МПК G01S 13/52. Устройство для определения параметров движения наземных объектов в двухпозиционной системе бортовых малогабаритных РЛС. / *Ненашев В.А., Григорьев Е.К., Шенета А.П., Подоплекин Ю.Ф.*; заявитель и патентообладатель ГУАП. заявл. № 2021106017; заявл. 09.03.2021; опубл. 01.12.2021. Бюл. №34. 15 с.
  8. Патент № 2756904 (РФ), МПК G01S 13/90. Устройство разноракурсного многопозиционного синтезирования комплексного изображения земной поверхности. / *Ненашев В.А., Ханьков И.Г., Шенета А.П.*; заявитель и патентообладатель ГУАП. № 2021107671; заявл. 24.08.2020; опубл. 06.10.2021. Бюл. №23. 15 с.
  9. *Nenashev V.A., Shepeta A.P.* Optimization the size of the search area for moving physical objects based on preliminary target designation data // Proceedings of XXIV International Conference Wave electronics and infocommunication systems. 2021. P. 1–4. <https://doi.org/10.1109/WECNF51603.2021.9470590>.
  10. *Yang T., Zhang X., Xu Q., Zhang S., Wang T.* An Embedded-GPU-Based Scheme for Real-Time Imaging Processing of Unmanned Aerial Vehicle Borne Video Synthetic Aperture Radar // Remote Sens. 2024. № 16. P. 191. <https://doi.org/10.3390/rs16010191>.
  11. *Zhang Y., Zhou J., Song Z., Zhou K.* High-Precision GPU-Accelerated Simulation Algorithm for Targets under Non-Uniform Cluttered Backgrounds // Remote Sens. 2023. № 15. P. 4664. <https://doi.org/10.3390/rs15194664>.
  12. *He Z., Li Z., Chen X., Yu A., Yi T., Dong Z.* Detecting Moving Target on Ground Based on Its Shadow by Using VideoSAR // Remote Sens. 2021. № 13. P. 3291. <https://doi.org/10.3390/rs13163291>.
  13. *Kim S., Yu J., Jeon S.-Y., Dewantari A., Ka M.-H.* Signal Processing for a Multiple-Input, Multiple-Output (MIMO) Video Synthetic Aperture Radar (SAR) with Beat Frequency Division Frequency-Modulated Continuous Wave (FMCW) // Remote Sens. 2017. № 9. P. 491. <https://doi.org/10.3390/rs9050491>.
  14. *Zhang Y., Zhu D., Mao X., Yu X., Zhang J., Li Y.* Multitrotors Video Synthetic Aperture Radar: System Development and Signal Processing // IEEE Aerospace and Electronic Systems Magazine. Dec. 2020. V. 35. № 12. P. 32–43. DOI: 10.1109/MAES.2020.3000318.
  15. *He Z., Chen X., Yi T., He F., Dong Z., Zhang Y.* Moving Target Shadow Analysis and Detection for ViSAR Imagery // Remote Sens. 2021. № 13. P. 3012. <https://doi.org/10.3390/rs13153012>.
  16. *Ненашев В.А., Ненашев С.А.* Классификация и распознавание наземных объектов в потоке радиолокационных кадров на основе нейросетевого подхода // Автоматизация в промышленности. 2024. № 1. С. 29–33. <https://doi.org/10.25728/avtprom.2024.01.07>.

## Информация об авторах

**Сергей Александрович Ненашев** – мл. науч. сотрудник, зав. лабораторией промышленной электроники  
SPIN-код: 1607-0640; AuthorID: 1079719; <https://orcid.org/0000-0002-6913-5590>

**Александр Роальдович Бестугин** – д.т.н., профессор, директор Института радиотехники электроники и связи  
SPIN-код: 1584-4019

**Максим Викторович Гамов** – д.т.н., профессор, профессор кафедры оценки эффективности боевых действий  
SPIN-код: не представлен

**Ирина Анатольевна Киршина** – к.э.н., доцент,  
доцент кафедры конструирования и технологий электронных и лазерных средств  
SPIN-код: 1904-9672

**Вадим Александрович Ненашев** – к.т.н., доцент кафедры конструирования и технологий электронных и лазерных средств, зав. лабораторией машинного обучения  
SPIN-код: 6728-6108; AuthorID: 745612; [orcid.org/0000-0001-5285-2051](https://orcid.org/0000-0001-5285-2051)

Статья поступила в редакцию 28.05.2025

Одобрена после рецензирования 10.06.2025

Принята к публикации 22.07.2025

Original article

# Methodology of object detection, coordinate determination and selection in the process of front zone framing in a two-position airborne control system

S.A. Nenashev<sup>1</sup>, A.R. Bestugin<sup>2</sup>, M.V. Gamov<sup>3</sup>, I.R. Kirshina<sup>4</sup>, V.A. Nenashev<sup>5</sup>

<sup>1,2,4,5</sup> St. Petersburg State University of Aerospace Instrument Engineering (St. Petersburg, Russia)

<sup>3</sup> Military Academy of Aerospace Defense named after Marshal of the Soviet Union G.K. Zhukov (Tver, Russia)

<sup>1</sup> nenashev\_sergey178@mail.ru; <sup>2</sup> fresguap@mail.ru; <sup>3</sup> gamov.m.v@bk.ru;

<sup>4</sup> kirshina@mail.ru; <sup>5</sup> nenashev.va@yandex.ru

## Abstract

**Problem statement.** Operational acquisition of reliable and highly informative data from aviation systems in the modern world plays a very important role. At the same time, high-resolution frames are required not only to be generated, but also to be intelligently analyzed, for example, on the basis of neural network approaches in order to ensure a high level of automation of the aviation control system as a whole. The process of automatic recognition of objects of interest involves three processing steps, namely detection, selection and recognition itself. In this chain, an important step is the detection of real targets on the RLC, which is one of the most difficult areas of research in the field of RLC sequence formation.

For the realization of each of the listed tasks, requires a certain number of operations in the processing of collected data, and therefore the time of realization of the above list of tasks is growing, which is a problem because the time of their overall realization is required to reduce.

**Objective.** To develop and investigate the method of forming a sequence of high-resolution RLC with parallel realization of algorithms of detection, selection, recognition, determination of FNO coordinates, as well as parameters of their movement in the process of formation of each frame with ensuring high accuracy of reliability and completeness of the formed data on FNO, located in the zone with emergency situation.

**Results.** The methodology of formation of high-resolution radar frames in the front line of sight of each radar with parallel implementation of the processes of detection, selection and recognition of ground objects of interest from the determination of their coordinates, as well as the parameters of their motion by the end of frame formation has been developed in order to increase the speed of the system as a whole and minimize the time-of-flight task execution.

**Practical significance.** The proposed methodology can be used in the search for people and physical ground objects (PGO) in emergency zones, in the assessment of ice fields, in the control of natural and man-made objects, interpretation of fires, structural and seasonal changes, etc.

## Keywords

*Aviation technical control systems, detection, selection, recognition, coordinate determination, time minimization, radar frames, high resolution, measurement reliability, automation, group technical vision*

## For citation

*Nenashev S.A., Bestugin A.R., Gamov M.V., Kirshina I.R., Nenashev V.A. Methodology of object detection, coordinate determination and selection in the process of front zone framing in a two-position airborne control system. Radiotekhnika. 2025. V. 89. № 8. P. 5–14. DOI: <https://doi.org/10.18127/j00338486-202508-01> (In Russian)*

## References

- Klemm R. (Ed.). *Novel Radar Techniques and Applications. V. 2. Waveform Diversity and Cognitive Radar, and Target Tracking and Data Fusion.* London. Scitech Publishing. 2017. 553 p.
- Nenashev V.A., Sencov A.A. *Prostranstvenno-raspredelemnnyye sistemy radiolokatsionnogo i opticheskogo monitoringa. Monografiya.* SPb: SUAI. 2022. 191 p. (in Russian).
- Nenashev V.A., Sentsov A.A., Shepeta A.P. *Formation of Radar Image the Earth's Surface in the Front Zone Review Two-Position Systems Airborne Radar. 2019 Wave Electronics and its Application in Information and Telecommunication Systems (WECONF).* Saint-Petersburg, Russia. 2019. P. 1–5. <http://doi.org/10.1109/weconf.2019.8840641>.
- Nenashev V.A., Khanykov I.G. *Formation of Fused Images of the Land Surface from Radar and Optical Images in Spatially Distributed On-Board Operational Monitoring Systems. Journal of Imaging.* V. 7. № 12: 251. P. 1–20. <https://doi.org/10.3390/jimaging7120251>.
- Patent № 2560082 (RU), MPK G01S 13/90. *Sposob frontal'nogo sintezirovaniya apertury anteny zemnoj poverhnosti s iskljucheniem slepyh zon v perednej zone s pomoshh'ju mnogopozitsionnoj radiolokatsionnoj sistemy.* Podoplekin Ju.F., Shepeta A.P., Nenashev V.A.; zajavitel' i patentoobladatel' SUAI. № 2014100672/07; zajavl. 09.01.2014; opubl. 20.08.2015. Bjul. №23. 8 p. (in Russian).
- Patent № 2703996 (RU), MPK G01S 13/90. *Sposob lokacii celej v perednih zonah obzora bortovyh radiolokatsionnyh stancij dvuhpozitsionnoj radiolokatsionnoj sistemy.* Korzhavin G.A., Nenashev V.A., Shepeta A.P., Podoplekin Ju.F., Davinchuk A.G.; zajavitel' i patentoobladatel' AO «Koncern «Granit-Elektron». № 2019108828; zajavl. 26.03.2019; opubl. 06.05.2019, Bjul. №13. 8 p. (in Russian).
- Patent № 2760873 (RU), MPK G01S 13/52. *Ustrojstvo dlja opredelenija parametrov dvizhenija nazemnyh ob'ektov v dvuhpozitsionnoj sisteme bortovyh malogabaritnyh RLS.* Nenashev V.A., Grigor'ev E.K., Shepeta A.P., Podoplekin Ju.F.; zajavitel' i patentoobladatel' SUAI. zajavl. № 2021106017; zajavl. 09.03.2021; opubl. 01.12.2021. Bjul. №34. 15 p. (in Russian).