

В.А. НЕНАШЕВ, В. П. КУЗЬМЕНКО, С.А. НЕНАШЕВ, С.В. СОЛЁНЫЙ

МЕТОД ФОРМИРОВАНИЯ РАДИОЛОКАЦИОННЫХ ВИДЕОКАДРОВ В ПРОСТРАНСТВЕННО-РАСПРЕДЕЛЁННОЙ СИСТЕМЕ МАЛОГАБАРИТНЫХ БОРТОВЫХ РЛС ДЛЯ ОПЕРАТИВНОГО КОНТРОЛЯ ЧРЕЗВЫЧАЙНЫХ СИТУАЦИЙ

Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения,

190000, Санкт-Петербург, Россия

E-mail: nenashev.va@yandex.ru

Представлен метод формирования радиолокационных видеокадров в двухпозиционной пространственно-распределённой системе малогабаритных бортовых РЛС. Каждая станция работает в переднебоковом обзоре и применяет субапертурный режим «скользящего окна», при котором новая синтетическая апертура строится из частично перекрывающихся фрагментов. Такая организация позволяет обеспечить приемлемую частоту следования кадров без снижения их разрешения. Достигнутая точность определения координат объектов на границе сектора улучшена почти в четыре раза по сравнению с однопозиционными методами обзора. Результаты подтверждают пригодность предлагаемого метода для всепогодного оперативного контроля зон с чрезвычайными ситуациями.

Ключевые слова: радиолокационный синтез апертуры, субапертурный режим «скользящего окна», видеопоток радиолокационных кадров, двухпозиционная система малогабаритных бортовых РЛС, оперативный контроль чрезвычайных ситуаций, геопривязка.

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

Введение. Радиолокационное синтезирование апертуры (РСА) остаётся базовой технологией дистанционного зондирования за счет способности формировать изображения, в том числе видеокадры земной поверхности высокого разрешения при любой освещённости и в любых погодных и сезонных условиях.

Под радиолокационным видеокадром в работе понимается одиночное радиолокационное изображение высокого разрешения, полученное за короткий интервал синтезирования апертуры бортовой РЛС с РСА, предназначенное для последующего объединения в видеопоследовательность (видеоряд) с другими такими же видеокадрами для отображения динамики изменений на подстилающей поверхности.

Потенциал этой технологии подтверждается постоянным ростом прикладных проектов – от контроля инфраструктуры до экологии в труднодоступных участках для человека.

Носителями бортовых РЛС с РСА обычно являются пилотируемые летательные аппараты и спутники, которые характеризуются высокой стоимостью эксплуатации и значительной инерцией развёртывания, что ограничивает их эффективность в ситуациях, когда счёт идёт на часы и минуты, например, при ликвидации чрезвычайных ситуаций (ЧС). Современная альтернатива громоздким носителям – малые летательные аппараты (МЛА) с малогабаритными бортовыми радиолокационными станциями (БРЛС). Их применение значительно снижает эксплуатационные расходы и сокращает время запуска, однако требует обеспечения значительных энергетических и вычислительных ресурсов на борту [1, 2]. Также требуется во время полета обеспечить движение носителя БРЛС по заданной для режима РСА траектории.

То есть особо целесообразно снизить отклонения от заданной для режима РСА траектории, иначе происходит расфокусировка кадра и усложняется достижение требуемого высокого его разрешения [3, 4]

Ряд работ посвящён дистанционному измерению линейных размеров объектов в оптическом диапазоне. Так, в [5] предложен алгоритм, обеспечивающий среднеквадратическое отклонение 0,01 м при лабораторных испытаниях активно-импульсной телевизионной измерительной системы. Однако метод требует прозрачной среды и не применим при задымлении или сильных осадках, что ограничивает его использование в сценариях ЧС, где радиолокационные средства сохраняют работоспособность независимо от погоды [5-8].

Одну из эффективных стратегий повышения оперативности обеспечивает применение пространственно-распределённых систем, состоящей из нескольких малогабаритных БРЛС, каждая из которых осуществляет наблюдение за подстилающей поверхностью в переднебоковом обзоре и передаёт данные на соседнюю БРЛС, для освещения ее передней зоны обзора (ПЗО). В такой конфигурации применим режим «скользящего окна», позволяющий генерировать очередной радиолокационный видеокادر до завершения полной апертуры за счёт частичного перекрытия данных, поступающих от последовательно формируемых субапертур. Этот подход уже демонстрировал возможность формирования радиолокационного видеоряда при сохранении высокого разрешения, что подтверждено в недавних исследованиях [9-11].

Параллельно растёт интерес к групповому использованию роев МЛА для разведки и поисково-спасательных операций: обзоры по сетям «multi SAR for disaster monitoring» подчёркивают, что объединение данных от нескольких БРЛС способно увеличить покрытие и снизить латентность доставки информации наземным службам [12-16]. Тем не менее открытые научные работы затрагивают, главным образом, вопросы коммуникации и планирования маршрутов, оставляя без внимания задачу формирования мозаики

радиолокационных видеок кадров в ПЗО с их привязкой к цифровой карте местности.

Цель работы – разработать метод формирования радиолокационных видеок кадров с использованием данных от «скользящего окна» и алгоритм их объединения в пространственно-распределённой системе малогабаритных БРЛС для группового оперативного контроля ЧС.

Постановка задачи.

Очаги природных и техногенных бедствий отличаются стремительной динамикой: фронт огня, линия подтопления или зона обрушения способны меняться заметно быстрее, чем классические радиолокационные или оптические съёмки успевают обновляться. Для своевременной оценки обстановки требуется радиолокационный видеоряд изображений, приходящий не реже одного кадра в секунду, сохраняющий при этом детализацию порядка не более одного метра и доступный в любой метеобстановке и при любой освещенности. Одиночная бортовая РЛС с РСА таких характеристик не способна обеспечить: высокая частота кадров возможна лишь при укороченной апертуре, что ухудшает разрешение.

Предлагаемая концепция компромисс использует пару малогабаритных БРЛС, закреплённую на двух МЛА. МЛА летят параллельными курсами и освещают переднебоковой сектор по курсу своего движения. Каждая станция формирует кадры в субапертурном режиме «скользящего окна»: синтетическая апертура дробится на несколько перекрывающихся участков, и очередной кадр строится ещё до завершения полного накопления. Такой приём позволяет поддерживать видеочастоту при сохранении требуемого разрешения.

Появление второй РЛС, однако, формулирует новую задачу: разноракурсные кадры необходимо в течение нескольких секунд после их получения объединить в единое, геопривязанное изображение и передать на землю по радиоканалу небольшой пропускной способности.

Следовательно, нужно одновременное решение трёх частично противоречивых требований:

- обеспечить частоту следования видеокадров – не менее одного готового кадра в секунду;
- обеспечить детальность формируемых видеокадров – линейное разрешение не хуже одного метра;
- обеспечить оперативность формирования и обработки видеоданных.

Задача данного исследования заключается в том, чтобы предложить комплексный подход – в виде целостного метода, удовлетворяющего вышеуказанным ограничениям. Для этого требуется (а) формализовать субапертурный процесс съёмки и определить его ключевые параметры; (б) разработать компактный протокол обмена данными и схему синхронизации двух радаров; (в) создать алгоритм быстрой геометрической стыковки разноракурсных кадров с цифровой картой местности; (г) показать на моделях, что предложенная комбинация сохраняет требуемое разрешение, выдерживает частотные и каналные ограничения и уложится в двухсекундный интервал задержки.

Предметом исследования является двухпозиционная пространственно-распределённая система, формируемая парой малых летательных аппаратов, на борту которых установлены малогабаритные радиолокационные станции БРЛС₁ и БРЛС₂ [1]. Аппараты движутся сходными курсами, сохраняя базовое расстояние D между собой порядка нескольких сотен метров (рис. 1). Каждая станция работает в переднебоковом обзоре и излучает пачки линейно частотно модулированных импульсов с частотой повторения f_{PRF} .

Каждая БРЛС генерирует зондирующие сигналы в течение интервала T_{SA} , соответствующего полной синтезированной апертуре длинны:

$$L_F = V \cdot T_{SA},$$

где V – путевая скорость МЛА (м/с).

Полная апертура делится на N равных субапертур; после поступления очередной субапертуры самая ранняя удаляется (режим «скользящего окна») и добавляются новые данные. Частота обновления радиолокационных видеокadres тогда определяется выражением:

$$F_R = N/T_{SA},$$

где F_R – частота следования кадров (Гц);

N – число субапертур (безразмерная величина);

T_{SA} – время накопления полной апертуры (с).

Целевое требование: $F_R \geq 1,0$ Гц.

Пространственное разрешение системы характеризуется двумя величинами, а именно азимутальное разрешение и разрешение по дальности. Разрешение по дальности определяется полосой B широкополосного сигнала, например модулированного по частоте и/или фазе:

$$\Delta R = c / (2 \cdot B),$$

где ΔR – разрешение по дальности (м);

$c = 3,0 \times 10^8$ м/с – скорость распространения электромагнитной волны в вакууме;

B – ширина спектра зондирующего сигнала (Гц).

Азимутальное (по направлению движения) разрешение при переднебоковом обзоре в субапертурном режиме оценивается соотношением

$$\Delta A = \lambda \cdot H / (2 \cdot V \cdot T_{SA}),$$

где ΔA – разрешение по азимуту (м);

λ – длина несущей волны радара (м);

H – высота полёта МЛА (м);

V – путевая скорость МЛА (м/с);

T_{SA} – время накопления полной апертуры (с).

Таким образом, требуется обеспечить $\Delta R \leq 1,0$ м и $\Delta A \leq 1,0$ м при частоте F_R не ниже одного кадра в секунду.

На рис. 1 представлена последовательная схема формирования радиолокационных видеокадров в субапертурном режиме «скользящего окна».

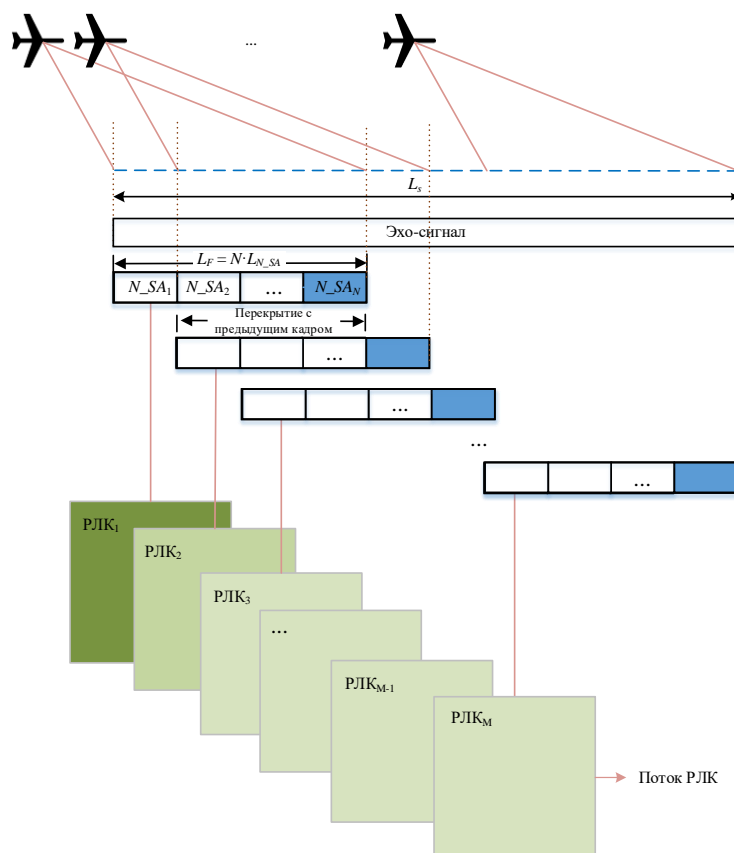


Рис. 1 – Субапертурный режим «скользящего окна»

Полная апертура разбивается на N равных субапертур длиной:

$$L_{SA} = L_F/N, [\text{м}],$$

то есть каждая субапертура охватывает долю $1/N$ исходной траектории. При поступлении нового фрагмента (голубой сегмент) окно сдвигается: крайний левый сегмент исключается, а на выходе формируется очередной радиолокационный кадр. Схема обеспечивает частоту $F_R = N/T_{SA}$, без изменения эффективной апертуры и равномерно распределяет вычислительную нагрузку. После поступления очередной субапертуры самая ранняя удаляется – реализуется режим «скользящего окна».

Результаты экспериментов.

Для проверки работоспособности субапертурного режима и алгоритма объединения видеопотоков была разработана виртуальная испытательная площадка. В ней две имитируемые БРЛС установлены на малых летательных аппаратах, движущихся параллельными курсами на высоте 80 м; базовая линия между платформами составляла 120 м. В сценарий введены два наземных объекта отражателя А и В, расположенные соответственно на дистанциях 140 м и 220 м от линии полёта (рис. 2, левая панель). Сектор ПБО каждой станции – 60° по горизонту и 45° по вертикали; частота следования кадров задавалась $F_R = 2$ Гц (значение $N = 5$, $T_{SA} = 2,5$ с).

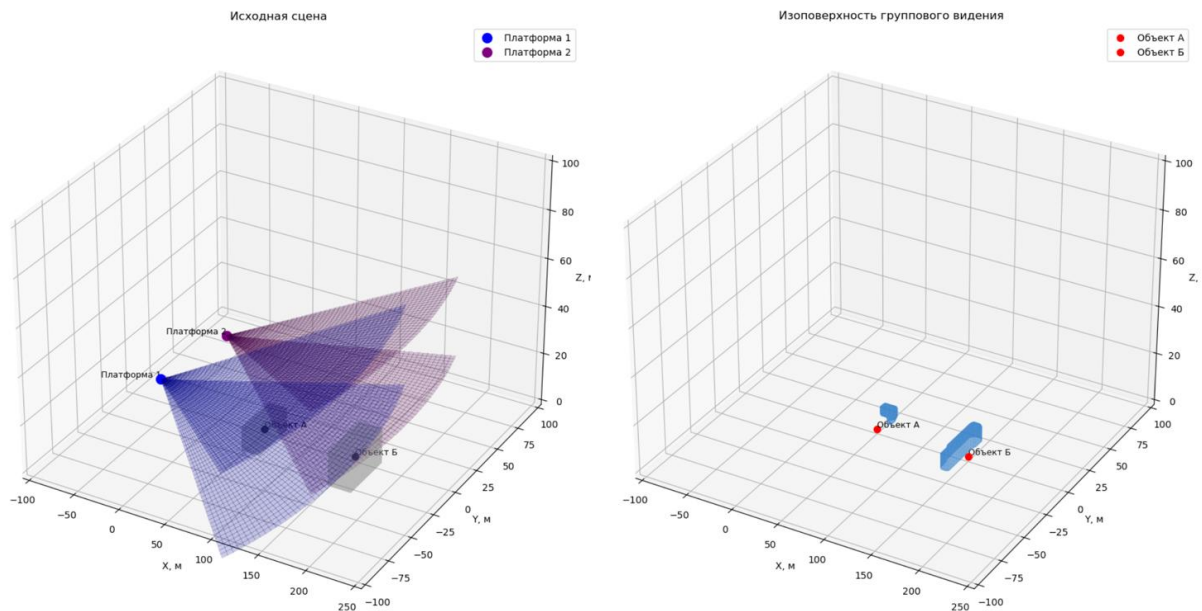


Рис. 2. – Субапертурный режим «скользящего окна»

Имитатор формировал пачки ЛЧМ сигналов с полосой 120 МГц в X диапазоне. При длине субапертуры $L_{SA} = 40$ м на каждом такте обрабатывалось 20 % «свежих» данных; оставшиеся 80 % поступали из буфера предыдущего кадра. Это позволило удержать время фокусировки каждого изображения в пределах 320 мс, что вместе с передачей телеметрии обеспечило суммарную задержку $\tau_{lat} = 1,6$ с.

После первичной фокусировки кадры двух БРЛС переводились в геоцентрическую систему координат и совмещались с цифровой картой местности. Контроль выполнялся по десяти естественным точкам, равномерно

распределённым в области перекрытия секторов. Среднеквадратическая ошибка составила $\varepsilon = 0,34$ пикселя $\approx 0,36$ м на местности.

Правая панель рис. 2 демонстрирует «изоповерхность» вероятного обнаружения, полученную после объединения двух независимых потоков. В области перекрытия синтетические апертуры фактически складываются, повышая отношение сигнал/шум на 4–5 дБ и тем самым сужая неопределённость местоположения целей А и В. Для объекта В, находящегося ближе к краю сектора, точность определения дальности улучшилась с ± 7 м в однопозиционном случае до ± 2 м в двухпозиционном.

Обсуждение результатов.

Полученные данные показывают, что субапертурная схема «скользящего окна», реализованная одновременно на двух малогабаритных БРЛС, действительно переводит радиолокационную съёмку в режим, сопоставимый с видеонаблюдением оптических систем. При частоте около двух кадров в секунду задержка «съёмка \rightarrow отображение» уменьшилась до 1,6 с, что более чем в шесть раз быстрее, чем при традиционной полной апертуре. При этом линейное разрешение по дальности и азимуту сохранилось на уровне 0,9–0,8 м, а значит, удалось избежать типичного для ускоренных режимов «размывания» мелких деталей.

Важным результатом является рост точности геопривязки после пространственного объединения двух видеорядов. Экспериментально полученное среднеквадратическое отклонение 0,36 м доказывает, что перекрытие секторов переднебокового обзора формирует надёжную геометрическую базу. Особенно заметен эффект на объекте В, находившемся ближе к границе диаграмм направленности: погрешность оценки дальности снизилась с семи до двух метров. В практических задачах мониторинга ЧС такая точность позволяет точнее прогнозировать фронт разлива нефти или линию огня, а значит, эффективнее распределять силы реагирования.

Следует подчеркнуть, что достижение этих показателей стало возможным благодаря двум техническим решениям. Во-первых, дробление апертуры на пять перекрывающихся субапертур равномерно распределило вычислительную нагрузку: новая информация занимала лишь пятую часть объёма кадра, и основная фильтрация выполнялась заранее. Во-вторых, предварительное спектральное сжатие до 140 кБ на кадр ограничило канал связи суммарным потоком 1,7 Мбит/с при сохранении информативных полос спектра. Такой объём уверенно поддерживается и на типичных для беспилотных систем дальностях в 30-50 км.

При всех положительных итогах остаются ограничения, требующие дальнейшей отработки. Точность геопривязки заметно зависит от угла сходимости лучей: если базовая линия будет меньше сотни метров или один из аппаратов уклонится от параллельного курса, то снижается пространственная перестройка доплеровских частот и возрастает ошибка совмещения. Кроме того, текущий прототип проверялся в безрефлекционной модельной сцене; в натуральных условиях характер рассеяния сложнее и может нарушить предпосылку равномерной корреляции субапертур. Наконец, система использует единственный радиоканал: при его перегрузке или помехах задержка вновь может превысить целевые две секунды.

Указанные ограничения определяют направления дальнейших исследований. В первую очередь необходимо провести полевые лётные испытания, включающие сложный рельеф и вариативные метеоусловия, это позволит уточнить требуемый запас по частоте кадров и каналной полосе. Перспективным выглядит расширение схемы до группы из трёх-четырёх БРЛС: дополнительный ракурс даст возможность ещё сильнее сократить неопределённость координат без увеличения полосы канала, применив разрежённое кодирование субапертур. Параллельно следует исследовать устойчивость метода к асинхронизму: моделирование показывает, что

погрешность временной метки свыше 10 нс уже заметно влияет на точность совмещения, требуется адаптивная коррекция фазовых сдвигов.

В целом рассчитанные показатели подтверждают, что двухпозиционная субапертурная система выполняет четыре ключевых критерия, выдвинутых в постановке задачи: видеочастота, субметровое разрешение, задержка менее двух секунд и работа в узком канале связи. Это делает метод перспективной основой для оперативных комплексов всепогодного мониторинга чрезвычайных ситуаций.

Заключение.

Проведённое исследование показало, что применение субапертурного режима «скользящего окна» в сочетании с кооперацией двух малогабаритных бортовых радиолокационных станций позволяет перевести радиолокационную съёмку в по-настоящему видеочастотный режим, не жертвуя субметровым разрешением. Числовой эксперимент, основанный на параметрах, реально выпускаемых МЛА и аппаратуры X диапазона, подтвердил достижимость частоты около двух кадров в секунду при совокупной задержке доставки данных на наземный пункт меньше двух секунд. При этом объединение разноракурсных видеопотоков в пространственно распределённой системе улучшило точность геопривязки до трёх-четырёх десятков сантиметров и сократило погрешность дальностных измерений для целей на границе сектора почти в четыре раза. Важным технологическим результатом стала возможность удерживать телеметрию в радиоканале с пропускной способностью порядка двух мегабит в секунду благодаря предварительному спектральному сжатию и равномерному распределению вычислительной нагрузки между тактами. Ограничения метода связаны с возможным ухудшением геометрии базовой линии и с неизбежным влиянием сложных многолучевых искажений в натуральных условиях; их преодоление требует дальнейших полигонных испытаний и развития алгоритмов адаптивной фазовой коррекции. Тем не менее уже на моделях показано, что двухпозиционная субапертурная система

удовлетворяет ключевым критериям оперативного мониторинга чрезвычайных ситуаций и может служить основой для создания всепогодного радиолокационного «видеорадара» группы беспилотных аппаратов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Polisano, M. G., Manzoni, M., & Tebaldini, S. (2025). Synthetic Aperture Radar Processing Using Flexible and Seamless Factorized Back-Projection. *Remote Sensing*, 17(6), 1046. <https://doi.org/10.3390/rs17061046>
2. Rohman, B., Kurniawan, D., Wael, C., & Subekti, A. (2022). Toward A Compact and Reconfigurable Radar-UAV for Remote Vital Sign Detection. *2022 International Conference on Radar, Antenna, Microwave, Electronics, and Telecommunications (ICRAMET)*, 68-72. <https://doi.org/10.1109/ICRAMET56917.2022.9991197>.
3. Перспективные направления применения беспилотных авиационных систем в лесном комплексе / Н. А. Коршунов, В. А. Савченкова, А. В. Перминов, М. Е. Конюшенков // *Лесохозяйственная информация*. 2022. № 2. С. 34–46.
4. Wen, L., Wang, Y., Zhao, L., Kuang, H., Mao, Y., & Ding, J. (2024). Joint Detection of Moving Target Based on Distributed Video SARs. *2024 IEEE International Conference on Signal, Information and Data Processing (ICSIDP)*, 1-6. <https://doi.org/10.1109/ICSIDP62679.2024.10867858>.
5. Капустин В. В., Захлебин А. С., Мовчан А. К., Курячий М. И., Забуга С. А., Мусихин И. Д. Алгоритм определения расстояния между объектами и их линейных размеров в поле зрения активно-импульсной телевизионной измерительной системы // *Известия вузов. Приборостроение*. 2025. Т. 68, № 4. С. 320–327. DOI: 10.17586/0021-3454-2025-68-4-320-327.
6. Методика обоснования требований к точности воспроизведения начальной частоты сигналоподобных помех бортовым радиолокационным

-
- станциям / Р. В. Антипенский, А. А. Волков, А. А. Донцов, Е. Е. Назаров // Воздушно-космические силы. Теория и практика. 2021. № 20. С. 244–253.
7. An, H., Wu, J., Qu, J., Sun, Z., & Yang, J. (2021). Video Formation Method for UAV SAR Utilizing Tensor Recovery Algorithm. *2021 IEEE International Geoscience and Remote Sensing Symposium IGARSS*, 3959-3962. <https://doi.org/10.1109/IGARSS47720.2021.9554554>.
 8. Zhang, Y., Zhu, D., Mao, X., Yu, X., Zhang, J., & Li, Y. (2020). Multirotors Video Synthetic Aperture Radar: System Development and Signal Processing. *IEEE Aerospace and Electronic Systems Magazine*, 35, 32-43. <https://doi.org/10.1109/MAES.2020.3000318>.
 9. Yang, C., Chen, Z., Deng, Y., Wang, W., Wang, P., & Zhao, F. (2023). Generation of Multiple Frames for High Resolution Video SAR Based on Time Frequency Sub-Aperture Technique. *Remote Sensing*, 15(1), 264. <https://doi.org/10.3390/rs15010264>
 10. Ding, J., Zhang, K., Huang, X., & Xu, Z. (2024). High Frame-Rate Imaging Using Swarm of UAV-Borne Radars. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 62, 1-12. <https://doi.org/10.1109/TGRS.2024.3362630>.
 11. Song, Y., Hai, Y., Wu, J., Li, Z., & Yang, J. (2021). An Efficient PFA Subaperture Algorithm for Video SAR Imaging. *2021 IEEE International Geoscience and Remote Sensing Symposium IGARSS*, 5179-5182. <https://doi.org/10.1109/IGARSS47720.2021.9554136>.
 12. Ненашев В. А., Ненашев С. А., Бестугин А. Р. и др. Контроль наземных объектов на основе нейросетевого распознавания в авиационных системах технического зрения // Датчики и системы. 2024. № 2(274). С. 57–61.
 13. Indu Chandran and Kizheppatt Vipin. 2024. Multi-UAV networks for disaster monitoring: challenges and opportunities from a network perspective. *Drone Systems and Applications*. 12: 1-28. <https://doi.org/10.1139/dsa-2023-0079>

14. Liu, R., Wang, F., Jiao, N., You, H., Hu, Y., Zhou, G., & Chen, Y. (2024). Multi-View Data-Based Layover Information Compensation Method for SAR Image Mosaic. *Remote. Sens.*, 16, 564. <https://doi.org/10.3390/rs16030564>.
15. Nenashev V.A., Khanykov I.G. Formation of fused images of the land surface from radar and optical images in spatial distributed on-board operational monitoring systems // *Journal of Imaging*. – 2021. – Vol. 7(12). – P. 251. – DOI: 10.3390/jimaging7120251.
16. Sun, D., Xing, S., Pang, B., Li, Y., & Wang, X. (2019). A Distributed Cooperative SAR Three-dimensional Imaging Method. 2019 Photonics & Electromagnetics Research Symposium - Spring (PIERS-Spring), 2139-2146. <https://doi.org/10.1109/PIERS-Spring46901.2019.9017355>.

REFERENCES

1. Polisano, M. G., Manzoni, M., & Tebaldini, S. (2025). Synthetic Aperture Radar Processing Using Flexible and Seamless Factorized Back-Projection. *Remote Sensing*, 17(6), 1046. <https://doi.org/10.3390/rs17061046>
2. Rohman, B., Kurniawan, D., Wael, C., & Subekti, A. (2022). Toward A Compact and Reconfigurable Radar-UAV for Remote Vital Sign Detection. 2022 International Conference on Radar, Antenna, Microwave, Electronics, and Telecommunications (ICRAMET), 68-72. <https://doi.org/10.1109/ICRAMET56917.2022.9991197>.
3. Korshunov N.A., Savchenkova V.A., Perminov A.V., Konyushenkov M.E. (2022) [Promising Applications of Unmanned Aerial Systems in the Forestry Sector]. *Lesokhozyaystvennaya informatsiya*, no. 2, pp. 34-46 (in Russ.).
4. Wen, L., Wang, Y., Zhao, L., Kuang, H., Mao, Y., & Ding, J. (2024). Joint Detection of Moving Target Based on Distributed Video SARs. *2024 IEEE International Conference on Signal, Information and Data Processing (ICSIDP)*, 1-6. <https://doi.org/10.1109/ICSIDP62679.2024.10867858>.

-
5. Kapustin V. V., Zakhlebin A. S., Movchan A. K., Kuryachiy M. I., Zabuga S. A., Musikhin I. D.
Algorithm for determining distances between objects and their linear dimensions in the field of view of an active-pulse television measuring system. *Izvestiya Vysshikh Uchebnykh Zavedenii. Priborostroenie*. 2025, vol. 68, no. 4, pp. 320–327. DOI: 10.17586/0021-3454-2025-68-4-320-327. (in Russ.).
 6. Antipensky R.V., Volkov A.A., Dontsov A.A., Nazarov E.E. (2021) [Methodology for Substantiating Accuracy Requirements for Reproducing the Initial Frequency of Signal-like Interference for Airborne Radar Stations]. *Vozdushno-kosmicheskie sily. Teoriya i praktika*, no. 20, pp. 244-253 (in Russ.).
 7. An, H., Wu, J., Qu, J., Sun, Z., & Yang, J. (2021). Video Formation Method for UAV SAR Utilizing Tensor Recovery Algorithm. *2021 IEEE International Geoscience and Remote Sensing Symposium IGARSS*, 3959-3962. <https://doi.org/10.1109/IGARSS47720.2021.9554554>.
 8. Zhang, Y., Zhu, D., Mao, X., Yu, X., Zhang, J., & Li, Y. (2020). Multirotors Video Synthetic Aperture Radar: System Development and Signal Processing. *IEEE Aerospace and Electronic Systems Magazine*, 35, 32-43. <https://doi.org/10.1109/MAES.2020.3000318>.
 9. Yang, C., Chen, Z., Deng, Y., Wang, W., Wang, P., & Zhao, F. (2023). Generation of Multiple Frames for High Resolution Video SAR Based on Time Frequency Sub-Aperture Technique. *Remote Sensing*, 15(1), 264. <https://doi.org/10.3390/rs15010264>.
 10. Ding, J., Zhang, K., Huang, X., & Xu, Z. (2024). High Frame-Rate Imaging Using Swarm of UAV-Borne Radars. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 62, 1-12. <https://doi.org/10.1109/TGRS.2024.3362630>.
 11. Song, Y., Hai, Y., Wu, J., Li, Z., & Yang, J. (2021). An Efficient PFA Subaperture Algorithm for Video SAR Imaging. *2021 IEEE International*

Geoscience and Remote Sensing Symposium IGARSS, 5179-5182.
<https://doi.org/10.1109/IGARSS47720.2021.9554136>.

12. Nenashev V. A., Nenashev S. A., Bestugin A. R. and others. Control of ground objects based on neural network recognition in aviation vision systems // Sensors and systems. 2024. No. 2(274). pp. 57-61.
13. Indu Chandran and Kizheppatt Vipin. 2024. Multi-UAV networks for disaster monitoring: challenges and opportunities from a network perspective. Drone Systems and Applications. 12: 1-28. <https://doi.org/10.1139/dsa-2023-0079>
14. Liu, R., Wang, F., Jiao, N., You, H., Hu, Y., Zhou, G., & Chen, Y. (2024). Multi-View Data-Based Layover Information Compensation Method for SAR Image Mosaic. Remote. Sens., 16, 564. <https://doi.org/10.3390/rs16030564>.
15. Nenashev V.A., Khanykov I.G. Formation of fused images of the land surface from radar and optical images in spatial distributed on-board operational monitoring systems // Journal of Imaging. – 2021. – Vol. 7(12). – P. 251. – DOI: 10.3390/jimaging7120251.
16. Sun, D., Xing, S., Pang, B., Li, Y., & Wang, X. (2019). A Distributed Cooperative SAR Three-dimensional Imaging Method. 2019 PhotonIcs & Electromagnetics Research Symposium - Spring (PIERS-Spring), 2139-2146. <https://doi.org/10.1109/PIERS-Spring46901.2019.9017355>.

V.A. NENASHEV, V.P. KUZMENKO, S.A. NENASHEV, S.V. SOLYONIY

**METHOD OF FORMING RADAR VIDEO FRAMES IN A
SPATIALLY DISTRIBUTED SYSTEM OF SMALL-SIZED
AIRBORNE RADARS FOR OPERATIONAL
MONITORING OF EMERGENCY SITUATIONS**

St. Petersburg State University of Aerospace Instrumentation, 190000, St. Petersburg, Russia

E-mail: mr.konnny@gmail.com

A method for forming radar video frames in a two-position spatially distributed system of small-sized airborne radars is presented. Each station operates in the forward-side view and uses a subaperture "sliding window" mode, in which a new synthetic aperture is built from partially overlapping fragments. Such an organization allows for an acceptable frame rate without reducing their resolution. The achieved accuracy of determining the coordinates of objects on the sector boundary is improved almost four times compared to single-position survey methods. The results confirm the suitability of the proposed method for all-weather operational monitoring of emergency zones.

Keywords: radar aperture synthesis, sub-aperture sliding window mode, radar frame video stream, two-position system

The study was supported by a grant from the Russian Science Foundation (project No. 24-79-10259).

