

# Метод объединения радиолокационных видеокадров с виртуальной моделью местности в группе малогабаритных бортовых РЛС

В. Ненашев, к.т.н.<sup>1</sup>, В. Кузьменко, к.т.н.<sup>2</sup>, С. Солёный, к.т.н.<sup>3</sup>

УДК 621.396.969 | ВАК 2.2.8

Своевременное получение видеoinформации о местности с бортовых РЛС в условиях ограниченной видимости востребовано сегодня при выполнении различных задач, в частности в зонах чрезвычайных ситуаций. В статье представлен метод объединения радиолокационных видеокадров с виртуальной моделью местности во взаимодействующей группе малогабаритных бортовых РЛС. В этом методе осуществляется кластеризационное упрощение видеокадра, выделение контурных опорных точек и вычисляется преобразование, приводящее разноракурсные кадры к ракурсу виртуальной моделью местности. Численное моделирование режима функционирования двухпозиционной системы взаимодействующей группы малогабаритных бортовых РЛС показало задержку 1,6 с при полосе радиоканала 2 Мбит/с и среднеквадратическую погрешность геопривязки 0,34 м.

## ВВЕДЕНИЕ

Современные задачи бортового контроля, особенно в зонах чрезвычайных ситуаций, предъявляют особые требования к мобильным радиолокационным системам: потребность в своевременном получении последовательности видеокадров подстилающей поверхности при любом освещении и в любых метеоусловиях стимулирует развитие малогабаритных бортовых РЛС (МБРЛС) с техническим зрением, базирующихся на малых летательных аппаратах (МЛА) [1–3]. Подобные мобильные МБРЛС

способны формировать последовательности видеокадров со скоростью, сопоставимой с оптическими видеосистемами, но имеют возможность работать в условиях ограниченной видимости [4–6].

Вместе с этим каждый видеопоток радиолокационных кадров (РЛК) формируется под различным углом обзора в зависимости от взаимного расположения МБРЛС и освещаемой территории. При групповом формировании совмещенного видеопотока возникают сложности из-за отличий в яркостных характеристиках, масштабе и ориентации кадра, что приводит к существенным геометрическим искажениям при попытках простого наложения видеокадров потока. При этом существующие методы автоматической коррекции, основанные на совместной автофокусировке и регистрации нескольких субапертурных РЛК потока, для которых обеспечивается высокое разрешение, оказываются слишком ресурсоемкими для реализации их функционирования в реальном масштабе времени [7–9]. Поэтому актуальным является исследование метода объединения радиолокационных видеокадров с виртуальной моделью местности, который требует учета условий формирования видеокадров в радиодиапазоне для повышения точности привязки к реальной картографической модели местности [10–12].

Ранее предложенные методы совмещения радиолокационных изображений с цифровой моделью местности

<sup>1</sup> Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения (ГУАП), заведующий лабораторией машинного обучения проектно-технологического офиса Инженерной школы ГУАП, доцент кафедры конструирования и технологий электронных и лазерных средств Института радиотехники и инфокоммуникационных технологий ГУАП.

<sup>2</sup> Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения (ГУАП), доцент кафедры электромеханики и робототехники, заведующий лабораторией электроэнергетики проектно-технологического офиса Инженерной школы ГУАП.

<sup>3</sup> Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения (ГУАП), доцент, заведующий кафедрой электромеханики и робототехники ГУАП.

показали высокую точность в условиях ограниченного канала связи, однако требуют адаптации для реализаций в условиях реального времени на борту малогабаритных носителей [13, 14]. Перспективные разработки в области группового технического зрения для авиационного контроля земной поверхности подтвердили применимость подобных решений при мониторинге в сложных метеоусловиях [15].

В данной статье предлагается метод объединения двух разноракурсных видеопотоков радиолокационных кадров с использованием виртуальной карты местности в качестве «якоря» для геометрической и яркостной увязки разноракурсных кадров.

Метод включает в себя три этапа:

1. высокоскоростная кластеризация пикселей видеок кадров для выделения характерных областей;
2. детектирование контуров и подбор опорных точек на кластеризованных кадрах;
3. вычисление и оценка точности преобразования видеок кадра к цифровой модели местности.

Цель работы – показать, что предложенный метод способен формировать геопривязанное изображение с погрешностью не более одного пикселя при частоте обновления не ниже одного кадра в секунду и суммарной задержке, не превышающей двух секунд при ограниченной полосе радиоканала. В работе для достижения поставленной цели последовательно рассматриваются постановка научной задачи с учетом анализа факторов, влияющих на ее решение, математические основы кластерно-корреляционного алгоритма, результаты численного моделирования и анализ достигнутых показателей точности и вычислительной эффективности.

## ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ

Исследование выполняется для двухпозиционной пространственно распределенной системы, в которой пара малогабаритных бортовых радиолокационных станций установлена на малых летательных аппаратах и осуществляет освещение передней зоны обзора каждой из двух станций. Каждая станция формирует последовательность радиолокационных видеок кадров с частотой, сопоставимой с видеопотоком, применяя субапериодический режим «скользящего окна». Потоки, получаемые под различными углами наблюдения за территориями, существенно неоднородны: кадры отличаются масштабом, яркостным уровнем и взаимным поворотом, а позиционные неточности, вызванные маневрами платформы, приводят к дополнительным искажениям [16, 17]. Простое помехоустойчивое наложение таких изображений без предварительного выравнивания неизбежно создает геометрические псевдо-артефакты и делает невозможным высокую локализацию наблюдаемых объектов и объединение потоков в один [18].

Необходима методика, способная в реальном времени согласовать два разноракурсных видеопотока и представить их как единое геопривязанное пространство при одновременном соблюдении четырех жестких требований:

- во-первых, система должна поддерживать частоту не ниже одного кадра в секунду, иначе потеряется динамика процессов, критичных для ситуационных центров осведомленности на наблюдаемых территориях;
- во-вторых, линейное разрешение итогового кадра должно оставаться высоким, поскольку именно такой масштаб необходим для достоверного распознавания небольших наземных объектов;
- в-третьих, суммарная задержка между моментом приема последнего затворного импульса и появлением комплексного кадра у оператора не должна превышать 1,5 с, чтобы обеспечить своевременную реакцию;
- в-четвертых, передача служебных данных и кадров от обеих станций ограничена пропускной способностью радиоканала около 2 Мбит/с; следовательно, алгоритм обязан быть экономным с точки зрения телеметрии.

Для удовлетворения этих условий предлагается использовать виртуальную карту местности, заранее загруженную в бортовой вычислитель, в качестве опорной поверхности являющейся связующей между различными ракурсами освежения. То есть виртуальная модель местности служит промежуточным звеном между разноракурсными кадрами и устраняет необходимость прямой жесткой регистрации «кадр-к-кадру». Задача сводится к тому, чтобы для каждого кадра в режиме реального времени определить преобразование, переводящее его в координатную систему карты, и тем самым обеспечить согласованность двух потоков в общем информационном поле.

Таким образом, требуется разработать метод, который при заданных ограничениях канала и вычислительных ресурсов гарантирует: частоту не ниже 1 Гц, линейную погрешность привязки не более одного метра и задержку менее двух секунд, при этом выполняя геометрическое и яркостное согласование двух радиолокационных видеопотоков с виртуальной картой местности.

## ТЕОРИЯ

В основе предлагаемого метода лежит последовательная связь четырех процессов: формирования видеопотока РЛК на каждой МБРЛС; первичного сокращения данных кластеризацией; извлечения опорных признаков и вычисления гомографии, позволяющей перевести кадр в систему координат виртуальной карты местности (ВКМ). Ниже все этапы описаны последовательно;

каждая формула сопровождается расшифровкой символов и указанием единиц СИ.

Пусть малый летательный аппарат движется с путевой скоростью  $V$  м/с и за время синтеза апертуры  $T_{SA}$  полная синтетическая апертура определяется путевой скоростью носителя и временем накопления:

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

где  $L_F$  – длина апертуры, м;  $V$  – путевая скорость летательного аппарата, м/с;  $T_{SA}$  – время синтеза апертуры, с.

Чтобы получить видеочастоту, апертуру делят на  $N$  равных субапертур:

$$L_{SA} = L_F / N,$$

где  $L_{SA}$  – длина субапертуры, м;  $N$  – число субапертур (безразмерная величина).

Частота обновления радиолокационных кадров тогда определяется выражением [19]:

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

где  $F_R$  – частота следования кадров, Гц;  $N$  – число субапертур (безразмерная величина).

Целевое требование:  $F_R \geq 1,0$  Гц [20].

Для ускорения дальнейшего анализа радиолокационный кадр  $I(x, y)$  и соответствующий фрагмент карты  $M(x, y)$  объединяются в одно 8-битное изображение и разбиваются на кластеры. При объединении соседних сегментов с размерами  $n_1, n_2$  и средними яркостями  $I_1, I_2$  используется критерий:

$$\Delta E = (n_1 \cdot n_2) \cdot (I_1 - I_2)^2 / (n_1 + n_2),$$

где  $\Delta E$  – приращение суммарной квадратичной ошибки;  $n_1, n_2$  – число пикселей (безразмерная величина);  $I_1, I_2$  – средняя яркость.

Ошибка после  $t$  шагов равна:

$$E_t = E_{t-1} + \Delta E_t, E_0 = 0.$$

На кластеризованном кадре применяется детектор границ ( $\sigma_s = 1,0$   $T_1 = 0,01$ ), где  $\sigma_s$  – среднеквадратичное отклонение.

Пересечения и изломы контуров формируют набор пар точек:

$$(x_{radar,j}, x_{map,j}), j = 1, \dots, m,$$

где  $x_{radar,j} = (x, y, 1)^T$  – однородные координаты пикселя кадра;  $x_{map,j}$  – координаты соответствующей точки ВКМ.

Требуется  $m \geq 8$  точек для субпиксельной гомографии.

Матрица  $H \in \mathbb{R}^{3 \times 3}$  определяется, как решение переопределенной системы:

$$x_{map,j} \sim H x_{radar,j}, j = 1, \dots, m,$$

где символ « $\sim$ » означает равенство до общего масштаба.

Первичное приближение  $H_0$  вычисляется методом наименьших квадратов, затем уточняется итерацией, минимизирующей боковые лепестки двумерной корреляционной функции контуров.

Геометрически выровненные кадры совмещаются с ВКМ взвешенным наложением

$$I_{comp} = \alpha I_{radar} + (1 - \alpha) I_{map},$$

где  $I_{radar}, I_{map}$  – интенсивности слоев, ур. серого;  $\alpha$  – весовой коэффициент (безразмерно), автоматически выбираемый по локальной контрастности.

Описанные зависимости реализованы в MATLAB версии R2024b; производительность и точность оценены в следующем разделе.

## РЕЗУЛЬТАТЫ ЭКСПЕРИМЕНТОВ

Для количественной проверки предложенного алгоритма осуществлено моделирование двухпозиционной конфигурации, в которой пара малогабаритных радиолокационных станций выполняет полетное задание на малых летательных аппаратах, движущихся параллельными курсами на высоте около 80 м. Базовая линия между аппаратами составляла 120 м, а путевая скорость – 40 м·с<sup>-1</sup>, что задает видеочастотную съемку с номинальной частотой два кадра в секунду. Ширина полосы зондирующего сигнала 600 МГц обеспечивает высокое разрешение по дальности.

На практике потоки радиолокационных кадров отличались по яркостному уровню примерно на 7 дБ и по масштабу на 4 %. Сцена включала два характерных отражателя: один – в зоне уверенного перекрытия секторов, второй – у границы диаграммы направленности. Для иллюстрации исходные радиолокационные и картографические фрагменты приведены на рис. 1.

Финальный комплексный кадр приведен на рис. 2. Слой цифровой карты усилен относительно радиолокационного, что делает текстуру суши более разборчивой и одновременно сохраняет контраст доплеровских отражений над водой. Такой баланс позволяет оператору просматривать картографическую информацию без потери радиолокационных деталей. При необходимости веса слоев могут быть перестроены, например, для приоритета радиолокации в условиях задымления.

Суммарная задержка между окончанием приема очередной пачки эхо-сигналов и появлением комплексного

## РАЗРАБОТКА И ПРОИЗВОДСТВО КОНДЕНСАТОРОВ

### Оксидно-электролитические алюминиевые конденсаторы K50-...

Номинальное напряжение,  $U_{ном}$ , В, 3,2 ... 485  
 Номинальная емкость,  $C_{ном}$ , мкФ, 1,0 ... 470 000  
 Диапазон температур среды  
 при эксплуатации,  $T_{ср}$ , °С -60 ... 125

### Объемно-пористые танталовые конденсаторы K52-...

Номинальное напряжение,  $U_{ном}$ , В, 3,2 ... 200  
 Номинальная емкость,  $C_{ном}$ , мкФ, 1,5 ... 60 000  
 Диапазон температур среды  
 при эксплуатации,  $T_{ср}$ , °С -60 ... 175

### Оксидно-полупроводниковые танталовые конденсаторы K53-...

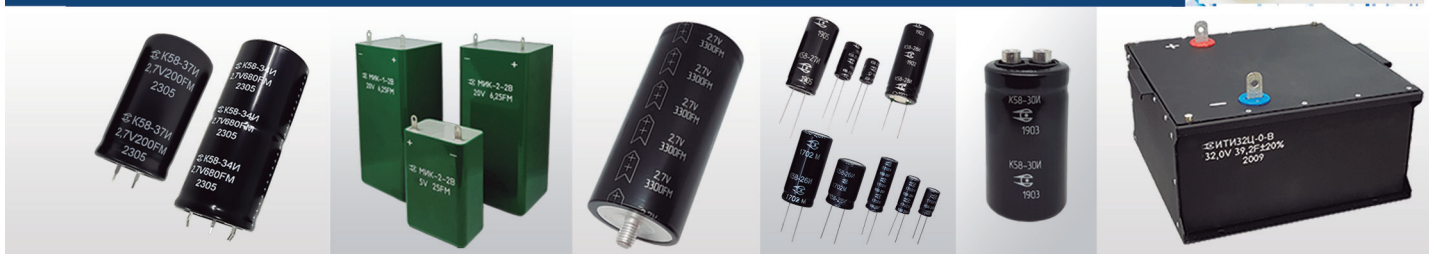
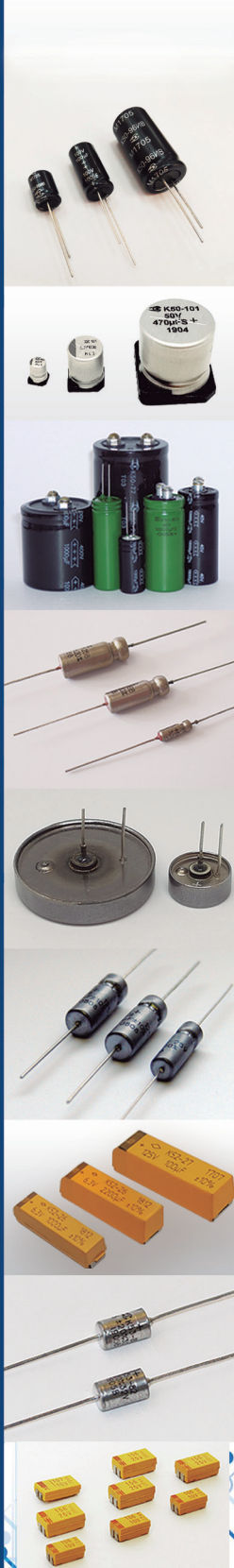
Номинальное напряжение,  $U_{ном}$ , В, 2,5 ... 63  
 Номинальная емкость,  $C_{ном}$ , мкФ, 0,033 ... 2 200  
 Диапазон температур среды  
 при эксплуатации,  $T_{ср}$ , °С -60 ... 175

### Суперконденсаторы K58-...

Номинальное напряжение,  $U_{ном}$ , В, 2,5 ... 2,7  
 Номинальная емкость,  $C_{ном}$ , Ф, 1,0 ... 4 700  
 Диапазон температур среды  
 при эксплуатации,  $T_{ср}$ , °С -60 ... 65

### Накопители электрической энергии на основе модульной сборки суперконденсаторов НЭЭ, МИК, МИЧ, ИТИ

Номинальное напряжение,  $U_{ном}$ , В, 5,0 ... 48  
 Номинальная емкость,  $C_{ном}$ , Ф, 0,08 ... 783  
 Диапазон температур среды  
 при эксплуатации,  $T_{ср}$ , °С -60 ... 65



Россия, 427968, Удмуртская Республика, г. Сарапул, ул. Калинина, д. 3  
 Тел.: (34147) 2-99-53, 2-99-89, 2-99-77, факс: (34147) 4-32-48  
 e-mail: [elecond-market@elcudm.ru](mailto:elecond-market@elcudm.ru); [www.elecond.ru](http://www.elecond.ru)



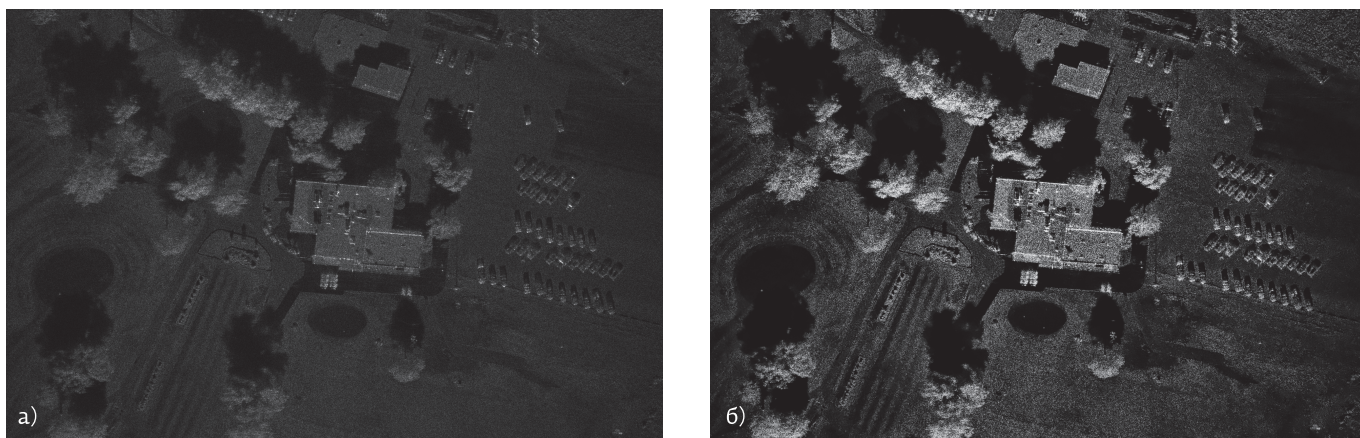


Рис. 1. Фрагмент карты (а) и радиолокационный кадр (б) одного и того же участка местности

кадра не превысила 1,6 с. Из них около шестидесяти миллисекунд приходилось на кластеризацию при девяти кластерах; остальные операции выполнялись в параллельных потоках и не выходили за предел видеочастотного цикла. Передаваемый объем данных составил приблизительно 140 кбайт на кадр, что дает средний поток  $1,7 \text{ Мбит}\cdot\text{с}^{-1}$  и оставляет запас по радиоканалу. Алгоритм оказался устойчивым к яркостному несоответствию до  $\pm 8 \text{ дБ}$  и масштабной разнице до пяти процентов.

Таким образом, эксперимент подтвердил: предложенная методика формирует единое геопривязанное изображение с субметровой точностью при видеочастотной съемке и в пределах узкого радиоканала, гарантируя полезную задержку менее двух секунд. Эти показатели позволяют рекомендовать алгоритм к натурным летным испытаниям и дальнейшему внедрению в оперативные радиолокационные комплексы.

## ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

Полученные численные данные подтверждают, что предложенный метод выравнивания видеопотоков радиолокационных кадров через виртуальную карту местности выполнил все целевые ограничения, сформулированные в постановке задачи. При частоте съемки два кадра в секунду задержка «съемка → отображение» осталась в пределах полутора секунд, а геопривязка обеспечила среднеквадратическую погрешность около трех десятков сантиметров. Эти показатели достигаются без расширения радиоканала: самую «тяжелую» часть данных составляют бинарные границы кластеров и телеметрические заголовки, что дает устойчивый поток порядка  $1,7 \text{ Мбит}\cdot\text{с}^{-1}$ . Тем самым алгоритм вписывается в практические возможности легких авиационных платформ и обеспечивает оперативность, сравнимую с оптическими видеосистемами контроля земной поверхности.

Наиболее заметный фактор, влияющий на точность – выбранный уровень детализации разбиения. Кластеризационная кривая оказалась выпуклой, и точка ее относительного минимума четко отделяет режим «слишком грубо» (недостаток опорных точек) от режима «лишняя детализация» (избыточные вычисления без прироста качества). В рассмотренной задаче оптимум пришелся на девять кластеров; при иных сценах с другой фактурой поверхности минимум может смещаться, но сама процедура поиска остается неизменной. Принципиально важно, что ВКМ – не просто справочный фон, а активный «якорь»: именно обращение к картографическим границам стабилизирует поиск гомографии, когда яркостный контраст между двумя радиолокационными съемками отличается на несколько децибел. Таким образом, карта не только повышает геометрическую точность, но и делает алгоритм нечувствительным к ансамблю сигнально-шумовых условий на каждом из бортов.



Рис. 2. Результат объединения радиолокационного видеокadra и фрагмента цифровой модели местности

Ограничения метода связаны прежде всего с допущениями модели. В виртуальном эксперименте отсутствовали многолучевые переотражения и сильные гребневые тени, тогда как в горных или высотных урбанистических районах эти эффекты могут нарушить строгость гомографии. Алгоритм требует стабильной синхронизации опорных временных меток: временной дрейф более десяти наносекунд приводит к сдвигу доплеровских частот и вносит фазовые ошибки, пока не компенсируемые текущей версией процедуры. Наконец, экспериментальная сцена использовала только два ракурса; добавление третьего или четвертого источника информации позволит дополнительно сузить погрешность, но потребует иного механизма распределения полосы канала и ресурсов вычислителя.

Тем не менее уже полученные результаты позволяют рассматривать метод как основу всепогодного «видео-радар». Он демонстрирует баланс между вычислительной экономичностью и субметровую точностью, а потому может быть встроен в системы оперативной съемки зон наводнений, разливов нефти или лесных пожаров, где классическая оптика теряет информативность. Дальнейшие исследования должны включить летные испытания над рельефной местностью, адаптивное взвешивание картографического и радиолокационного слоев в функции прозрачности атмосферы, а также расширение схемы до группы из трех-пяти станций с динамическим перераспределением канальной полосы.

## ВЫВОДЫ И ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Разработан метод объединения потоков радиолокационных кадров, формируемых парой малогабаритных бортовых радиолокационных станций, с виртуальной картой местности. Ключевым элементом является кластерно-контурная привязка каждого кадра к карте, что позволяет согласовать разноракурсные изображения без прямой регистрации «кадр-к-кадру».

Численное моделирование показало, что при полосе радиоканала 2 Мбит/с метод обеспечивает: видеочастоту два кадра в секунду и задержку отображения  $\approx 1,6$  с; субметровое пространственное разрешение и среднеквадратическую погрешность геопривязки  $\approx 0,34$  м; устойчивость к яркостным рассогласованиям до  $\pm 8$  дБ и масштабным отклонениям до 5 %.

Привязка через виртуальную карту местности выполняет двойную функцию: устраняет геометрические несоответствия между потоками и одновременно повышает наглядность комплексного изображения, что важно для оперативного мониторинга зон чрезвычайных ситуаций в условиях ограниченной видимости.

Ограничения метода связаны с возможными многолучевыми искажениями в сложном рельефе и с требованием точной синхронизации временных шкал бортовых станций. Перспективы дальнейших исследований –

полевые летные испытания и расширение схемы до групп из трех-пяти МБРЛС с динамическим распределением канальной полосы обмена данными между ними и оператором на земле.

Таким образом, предложенный подход создает практическую основу для всепогодного радиолокационного видеонаблюдения, способного дополнять или замещать оптические средства при решении задач оперативного картографирования и выполнении поисково-спасательных операций.

## ИСТОЧНИК ФИНАНСИРОВАНИЯ

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

## ЛИТЕРАТУРА

1. **Deng L., Chen X., Hou Q. (2024).** Sub-Aperture Synthetic Aperture Radar Imaging of Fixed-Platform Beam-Steering Radar for Blast Furnace Burden Surface Detection // *Sensors*, 24(14), 4479. <https://doi.org/10.3390/s24144479>.
2. **Fang Z., Li Z., Mao X., Yang Y., Wu J., Yang J. (2022).** A Time-Domain Image Formation for High Frame Rate UAV Swarm SAR. IGARSS 2022 - 2022 IEEE International Geoscience and Remote Sensing Symposium, 2506–2509. <https://doi.org/10.1109/IGARSS46834.2022.9883639>.
3. **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.
4. **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, PP. 1–12. <https://doi.org/10.1109/TGRS.2024.3362630>.
5. **Yang T., Wang T., Zheng N., Zhang S., Meng F., Zhang X., Wu Q. (2024).** Miniaturization Design of High-Integration Unmanned Aerial Vehicle-Borne Video Synthetic Aperture Radar Real-Time Imaging Processing Component // *Remote. Sens.* 16, 1273. <https://doi.org/10.3390/rs16071273>.

ООО  
СМП



ИНТЕРНЕТ-МАГАЗИН

www.SMD.ru

электронные  
**для поверхностного  
 монтажа**

**НОВОЕ В ПРОГРАММЕ ПОСТАВОК**  
 • Катушки индуктивности на токи до 10 А  
 • U.FL разъемы и pigtail со SMA
 





Москва, Ленинградский пр., 80 к. 32; e-mail: sale@smd.ru  
 Тел.: (499) 158-7396, (495) 940-6244, (499) 943-8780

6. **Tong W., Wei B., Yu A., Dong Z., He Z., Tang F. (2023).** Video SAR Moving Target Detection System Based on FPGA. 2023 8th International Conference on Signal and Image Processing (ICSIP), PP. 419–423. <https://doi.org/10.1109/ICSIP57908.2023.10270853>.
7. **Yang X., Shi J., Zhang B., Zang C., Li P., Xin L., Zhou Y., Wu J. (2025).** Spatiotemporal Staggered Projection Imaging for Video-SAR Under the Resource-Constrained Platform // IEEE Transactions on Aerospace and Electronic Systems, 61, PP. 2532–2547. <https://doi.org/10.1109/TAES.2024.3471731>.
8. **Hu R., Min R., Pi Y. (2017).** Interpolation-free algorithm for persistent multi-frame imaging of video-SAR // IET Radar Sonar and Navigation, 11, PP. 978–986. <https://doi.org/10.1049/IET-RSN.2016.0524>.
9. **Cheng Y., Ding J., Sun Z., Zhong C. (2022).** Processing of Airborne Video SAR Data Using the Modified Back Projection Algorithm // IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing, 60, PP. 1–13. <https://doi.org/10.1109/TGRS.2022.3220643>.
10. **Gao G., Wang M., Zhang X., Li G. (2025).** DEN: A New Method for SAR and Optical Image Fusion and Intelligent Classification // IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing, 63, PP. 1–18. <https://doi.org/10.1109/TGRS.2024.3500036>.
11. **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.
12. **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), PP. 2139–2146. <https://doi.org/10.1109/PIERS-Spring46901.2019.9017355>.
13. **Ненашев В.А., Сенцов А.А.** Пространственно-распределенные системы радиолокационного и оптического мониторинга // Санкт-Петербург: Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения, 2022. 191 с. ISBN 978-5-8088-1685-5.
14. **Сенцов А.А., Ненашев В.А., Иванов С.А., Турецкая Е.Л.** Совмещение сформированных радиолокационных изображений с цифровой картой местности в бортовых системах оперативного мониторинга земной поверхности // Труды МАИ. 2021. № 117. DOI 10.34759/trd-2021-117-08.
15. **Солёный С.В., Ненашев В.А., Кузьменко В.П.** Авиационный контроль земной поверхности на основе формирования видеокладов и методов группового технического зрения: монография. СПб: ГУАП, 2025. 186 с. ISBN 978-5-8088-2062-3.
16. **Song D., Tharmarasa R., Han K., Li G., Kirubarajana T., McDonald M. (2021).** Video SAR Image Fusion Using the Effective Reflection Coefficient. 2021 CIE International Conference on Radar (Radar), PP. 1200–1204. <https://doi.org/10.1109/Radar53847.2021.10028338>.
17. **Xu W., Song H., Jin Y., Yan F. (2021).** Video Super-Resolution with Frame-Wise Dynamic Fusion and Self-Calibrated Deformable Alignment. Neural Processing Letters, 54, PP. 2803–2815. <https://doi.org/10.1007/s11063-021-10593-9>.
18. **Zhang F., Liu P., Ma J., Qin X. (2024).** Deep fusion network based on two-stream CNN for radar target recognition, 13086, 130860T–130860T-8. <https://doi.org/10.1117/12.3007759>.
19. **Manikandan S., Nigam C., Ramakrishnan S., Seshagiri D. (2020).** Generation of Airborne Synthetic Aperture Radar Video from Stripmap and Spot mode images and Frame Rate Analysis. 2020 IEEE India Geoscience and Remote Sensing Symposium (InGARSS), 142–145. <https://doi.org/10.1109/InGARSS48198.2020.9358941>.
20. **Yang Q., Fan L., Yi J., Wang H. (2025).** A Novel High-Precision Terahertz Video SAR Imaging Method. IEEE Geoscience and Remote Sensing Letters, 22, PP. 1–5. <https://doi.org/10.1109/LGRS.2024.3520215>.



**Качество высокое  
Цены низкие**

## Фильтры на объемных резонаторах

- Диапазон частот  
**1 – 20 ГГц**
- Полоса пропускания  
**до 20%**
- материал корпуса  
**алюминий, титан, ковар**

- Малые размеры
- Надежность конструкции
- Низкие вносимые потери
- Хорошая избирательность

**Любые виды заказов:**  
ОКР • единичные  
• срочные • крупносерийные  
[filin-rf@radiocomp.ru](mailto:filin-rf@radiocomp.ru)

**ФИЛИН**  
Filter Innovations  
[www.radiocomp.ru](http://www.radiocomp.ru)