

Харьковская Государственная Академия  
железнодорожного транспорта

На правах рукописи

Экз. №7

Лукина Ирина Станиславовна

УДК 621.396.11

ФОРМИРОВАНИЕ И ОБРАБОТКА РАДИОМЕТРИЧЕСКИХ ИЗОБРАЖЕНИИ  
ПОДСТИЛАЮЩЕЙ ПОВЕРХНОСТИ В КММВ-ДИАПАЗОНЕ  
ДЛЯ ЗАДАЧ ДИСТАНЦИОННОГО ЗОНДИРОВАНИЯ

05.12.13 - устройства радиотехники средств связи

05.12.21 - радиотехнические системы специального  
назначения, включая технику СВЧ и технологию их  
производства

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание ученой степени  
кандидата технических наук

Харьков-1994



00756414 (R)

621.397 - АВ 30.057  
Работа выполнена в Радиоастрономическом институте

Академии наук Украины

621.37+  
Научный руководитель - доктор физико-математических наук Чурилов В. П.621.317  
Официальные оппоненты - доктор технических наук, профессор Кулемин Г. П.  
кандидат технических наук, с. н. с. Погребняк А. Б.

Ведущее предприятие - Научно-исследовательский Институт Радиотехнических Измерений (НИИРИ, г. Харьков).

Защита состоится "8" июня 1994 года в аудитории N 417 в 10 час. 00 мин. на заседании специализированного совета Д 114.04.02 Харьковской Государственной Академии железнодорожного транспорта (ХГАЖДТ).

Отзывы (в одном экземпляре, заверенные печатью) просим направлять по адресу: 310050, Харьков-50, пл. Фейербаха, 7, ХГАЖДТ, секретарю специализированного совета Д 114.04.02.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке ХГАЖДТ  
Автореферат разослан "5" июня 1994 года.

Секретарь специализированного

Совета

*Кнышев*

доцент Кнышев И. П.

ДВ - 30.051

## ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы. Средства дистанционного зондирования (ДЗ) позволяют эффективно и оперативно решать многие народно-хозяйственные, экологические и прикладные задачи мониторинга и картографирования подстилающих участков суши и водной поверхности. Перспективным направлением их развития является совершенствование и применение систем ДЗ диапазона коротких миллиметровых волн (КММВ), которые могут как входить в состав радиолокационных комплексов, устанавливаемых на борту спутников и авиационных носителей, так и использоваться самостоятельно при выполнении широкого круга исследований и измерений: контроля ледового, снежного и растительного покровов и оценки их параметров; обнаружения загрязнений водной поверхности, картографирования труднодоступных районов, оперативного поиска и локализации малоразмерных объектов (МО), идентификации сцен и т. д.

Преимущества радиометрических средств данного диапазона, реализуемых обычно в виде систем сканирующего типа, состоят в возможности формировать изображение практически в реальном масштабе времени, высокой угловой разрешающей способности, значительном динамическом диапазоне контрастов интенсивности собственного излучения объектов, сравнительно невысоком уровне зашумленности исходных изображений; достаточной проработанности существующих моделей информационных сигналов, что потенциально позволяет надежно и с приемлемой точностью решать задачи обнаружения, измерения координат, оценки био- и

геофизических параметров и идентификации объектов и сцен. Реализации отмеченных достоинств на практике препятствуют специфические искажения изображений вследствие несовершенства и сбоев аппаратуры, сложность создания эффективных методов и соответствующих быстродействующих алгоритмов повышения качества и анализа радиометрических данных. К тому же, ощущается недостаточность числа публикаций, содержащих систематизированное изложение особенностей радиометрических систем формирования изображений (РМ СФИД) КММВ-диапазона, не учитывается индивидуальность конкретных средств, одним из вариантов которой является система ДЭ, созданная в Радиоастрономическом институте АН Украины. Таким образом, актуальным является проведение исследований, направленных как на разработку общих методик, так и на создание конкретных алгоритмов повышения качества и обработки радиометрических изображений (РМИ) КММВ-диапазона.

Цель и задачи работы. Цель работы состоит в исследовании основных видов искажений и характеристик РМИ КММВ-диапазона и разработке на основе их анализа устойчивых, эффективных и практически реализуемых методов, процедур и алгоритмов получения и обработки радиометрической информации.

В соответствии с поставленной целью основными задачами работы являются анализ характеристик и источников искажений РМИ, обоснование путей и рекомендаций по их устранению и подавлению на различных этапах обработки данных, создание новых методов формирования радиоизображений и исследование их устойчивости и эффективности, анализ применимости известных и разработка новых алгоритмов и процедур фильтрации и начальных

этапов сегментации данных.

Методы исследования. При выполнении работы использованы:

- методы статистического анализа данных;
- методы численной параметрической оптимизации;
- методы теории нелинейной фильтрации;
- методы планирования и обработки результатов физического эксперимента;
- численное моделирование на ЭВМ.

Научная новизна работы состоит в том, что в результате проведения физического эксперимента и классификации источников помех и искажений РМИ выполнено всестороннее исследование их свойств и характеристик, позволившее предложить новые методы формирования и вторичной обработки радиоданных, основанные на использовании спектральной избыточности информационных сигналов и ранговых процедур, которые обеспечили эффективное устранение наиболее существенных искажений, устойчивость к воздействию разнообразных дестабилизирующих факторов (ДФ), сравнительно высокое быстродействие и простоту соответствующих цифровых алгоритмов.

На защиту выносятся следующие научные положения:

- методы и ранговые цифровые алгоритмы обработки многочастотных РМИ и методики выбора параметров спектральных каналов;
- развитие принципа пространственно-частотной эквивалентности (ПЧЭ) и использование спектральной избыточности при оптимизации аппаратной функции (АФ) СФИ сканирующего типа КМВ-диапазона;

- результаты анализа устойчивости линейных и ранговых методов совместной обработки многочастотных (МЧ) РМИ к воздействию дестабилизирующих факторов;
- автоматизированная процедура выявления малоразмерных объектов.

Практическая ценность диссертационной работы заключается в создании методики и программных средств преобразования радиофизической информации в цифровую форму и ее анализа, выработке рекомендаций по выбору параметров и структуры МЧ СФИ с учетом устойчивости и сложности реализации таких систем, создании процедур и программно-алгоритмического обеспечения для выполнения ряда этапов первичной обработки, фильтрации и сегментации РМИ, обосновании путей совершенствования конкретной СФИ, являющихся приемлемыми и для других систем.

Реализация результатов. Предложенные методы и цифровые алгоритмы обработки радиометрических данных внедрены при проведении НИР "Природа" Радиоастрономическим институтом АН Украины, а также НИР "Мальва-УА" в Харьковском авиационном институте.

Апробация результатов. Основные положения и результаты диссертационной работы доложены и обсуждены на Межотраслевой НТК-90 (Львов, апрель 1990 г.), 2 - ой областной конференции молодых ученых и специалистов РИ АН Украины "Актуальные проблемы астрофизики и радиофизики" (Харьков, апрель 1990 г.), Всесоюзной конференции "Радиофизическая информатика" (Москва, ноябрь 1990 г.), школе-семинаре "Статистические методы обработки сигналов и изображений" (Новороссийск, сентябрь

1991 г.), 2-ой Всесоюзной конференции "Методы и средства представления и обработки случайных сигналов и полей" (Туапсе, октябрь 1991 г.), научно-технической конференции "Приборы, техника и распространение радиоволн ММ и субММ диапазона" (Харьков, июнь 1992 г.), 2-ой научной конференции "Применение дистанционных радиофизических методов в исследованиях природной среды" (Муром, июль 1992 г.), Всеукраинской конференции "Обробка сигналів і зображень та розпізнавання образів" (Киев, ноябрь 1992 г.), научно-технической конференции "Проблемы точности, надежности и диагностики радиотехнических систем" (Винница, январь 1993 г.), а также ежегодных научно-технических конференциях молодых ученых, аспирантов Радиоастрономического института Академии Наук Украины в период с 1989 по 1993 годы.

Публикации. По теме диссертации опубликовано 11 печатных работ, результаты отражены в 4 отчетах о НИР.

Объем и структура работы. Диссертационная работа состоит из введения, четырех разделов, заключения и двух приложений. Список использованных источников содержит 147 наименований. Общий объем работы 147 страниц, в том числе 66 рисунка на 31 страницах.

#### СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении обоснована актуальность темы исследования, сформулированы цель и задачи работы, описана структура диссертации, представлены сведения о внедрении результатов.

В первом разделе выполнен аналитический обзор методов и средств формирования и обработки радиоизображений в ММ

диапазоне волн. Перечислены основные применения радиометрических СФИ. Проанализированы важнейшие характеристики излучаемых зондируемой поверхностью и принимаемых антенной сигналов, информативными признаками которых являются интенсивность (мощность), поляризационные свойства и текстура. Рассмотрены традиционные пути построения и принципы функционирования радиометрических систем сканирующего типа, приведены основные соотношения, связывающие характеристики излучения, принимаемых сигналов и параметры СФИ и носителя; обсуждены особенности осуществления сканирования и аппаратурной реализации существующих систем, их практического использования и установки на борту носителя. Изучены требования к техническим характеристикам средств ДЗ, определяемые решаемыми ими задачами, спецификой применения и возможностью их практического достижения на современном этапе. Показаны преимущества систем КММВ - диапазона, перечисленные ранее, рассмотрен вопрос о выборе рабочей частоты и других характеристик СФИ: сектора обзора, ширины диаграммы направленности (ДН) антенны, скорости сканирования, разрядности АЦП, частоты дискретизации данных.

Факторами, определяющими качество исходных РМИ, являются мультипликативные, аддитивные, а во многих случаях и импульсные помехи, обусловленные аппаратурными сбоями или ошибками при передаче и декодировании информации на наземном пункте обработки данных, а также эффекты, связанные с АФ СФИ и механическим сканированием.

Обоснована необходимость повышения качества первичных РМИ, перечислены известные в теории критерии. Рассмотрены

методы, позволяющие обеспечить повышение качества, в частности, методы реставрации на основе регуляризации и инверсной фильтрации. Показано, что в рассматриваемой ситуации их применение затруднено вследствие возможного наличия аномальных выбросов, одновременного влияния мультипликативных и аддитивных помех, появления ложных деталей, сложности обеспечения необходимого быстродействия и других причин.

Разумной альтернативой этим методам могут служить алгоритмы вторичной обработки РМИ в скользящем окне. Проведен краткий анализ существующих фильтров, обоснована целесообразность поиска наилучших вариантов среди модификаций ранговых алгоритмов, использования элементов адаптации и учета априорной информации.

Еще одним путем является оптимизация или улучшение вида АФ СФИ, обсуждены возможности этого метода, реализуемого за счет использования аподизирующих функций на раскрыве антенны или спектральной избыточности обрабатываемых сигналов.

Рассмотрены особенности сегментации как этапа обработки и анализа РМИ. Показано, что существует потребность в эффективных алгоритмах выявления границ (перепадов интенсивности) и разработке упрощенных процедур предварительного выявления МО, их локализации. На основе проведенного анализа сформулированы направления и задачи исследований.

Второй раздел посвящен обоснованию необходимости, методике проведения и результатам анализа данных физического эксперимента. Описана структура разработанного в

Радиоастрономическом институте АН Украины РМ системы дистанционного зондирования, включающей сканирующее устройство, сменные антенны, радиометр, блок синхронизации, многоканальный магнитограф для регистрации информационных и служебных сигналов, АЦП и средства цифровой обработки данных на базе персональных ЭВМ типа ДБК и IBM; приведены параметры и характеристики указанных блоков и устройств.

Проанализированы источники помех и искажений, характерных для РМ СФИ КММВ-диапазона, проведена их классификация в соответствии с этапом и причинами возникновения. В результате обоснована методика выполнения физического эксперимента, предусматривающая последовательное исследование аддитивных шумов различных блоков аппаратуры, влияния АЦП и ДН антенны, механического сканирования, выбора постоянной времени интегрирования радиометра и алгоритма первичной обработки данных, режима функционирования РМС. Ряд эффектов, в частности, проявление мультипликативных помех, диаграммоформирующих свойств зондируемых поверхностей, сглаживающего воздействия АФ предложено исследовать для трех типов тестовых объектов, движение двух из которых, являющихся фоноконтрастными, сквозь зону обзора имитирует функционирование реальной системы ДЗ при ее установлении на носителе. Выбор формы, размеров и материалов изготовления объектов позволил контролировать сохранение контрастов, деталей и геометрических пропорций при формировании РМИ.

Исследования проводились с помощью специально разработанного программного обеспечения для статистического анализа данных, а также генераторов стандартных сигналов,

осциллографа и спектроанализатора. Основные результаты обработки данных физического эксперимента заключаются в следующем:

- форма и контрастность объектов достаточно хорошо сохраняются, однако при высоких скоростях сканирования могут наблюдаться значительные ошибки взаимного сдвига строк, достигающие пол-элемента разрешения при ширине ДН антенны  $5^\circ$  по уровню  $-3$  дБ;

- уровень аддитивных помех относительно невелик и сравним с мультипликативными шумами лишь при малых средних значениях интенсивности на однородном участке;

- относительная дисперсия  $\sigma_{\mu}^2$  мультипликативных помех также невелика по сравнению с радиолокационными изображениями, ее значение зависит от скорости сканирования и методики временного накопления сигналов, изменяясь в пределах от 0.0005 при скорости сканирования  $V_{ск} = 0.5$  скан/с и оптимальном накоплении до 0.02 при максимальной  $V_{ск} = 4$  скан/с и неоптимальном режиме временного накопления;

- в рассматриваемой системе оценивание текущей мощности принимаемого излучения (накопление сигнала) может проводиться как аппаратно путем временного сглаживания принятого сигнала в радиометре с дискретным выбором постоянной интегрирования  $\tau$ , так и с помощью цифрового усреднения при дискретизации данных с частотой, существенно превышающей предельную; исследования показали, что необходим либо подбор оптимальной  $\tau$ , либо использование цифрового накопления, возможно и одновременное использование обеих методик;

- в результате совместного влияния аддитивных и

мультипликативных шумов уровень значений  $\sigma_0^2$  варьируется от 0.04 для участков с низкой средней интенсивностью (превалирующим является влияние аддитивной составляющей) до 0.0005 при высокой средней интенсивности объекта (мультипликативная составляющая является доминирующим воздействием);

- при высокой скорости сканирования начинают проявляться эффекты, связанные с инерционностью элементов и блоков системы, приводящие к дополнительному "размытию" контуров объекта; поэтому для рассматриваемой РМС не рекомендуется использовать  $V_{ск} > 2$  скан/с;

- более того, при высоких частотах дискретизации, соответствующих большим  $V_{ск}$ , наблюдалось резкое увеличение вероятности появления аномальных выбросов  $P_{и}$  (до 0.05), контролируемой с помощью гистограммы распределения значений РМИ для выбранных фрагментов;

- при рекомендуемой к практическому использованию итоговой частоте представления РМИ, примерно вдвое превышающей предельную, влияние АФ наблюдается для окрестностей границ контрастных объектов в виде их небольшого размытия; при исследуемом соотношении интенсивностей объект-фон (7дБ) влияние боковых лепестков АФ практически не ощущается, однако при большем динамическом диапазоне контрастов, характерном для реальных сцен, оно может стать заметным;

- для сохранения геометрических пропорций объектов на изображении необходимо согласовывать скорости сканирования и носителя, угловую разрешающую способность антенны, высоту полета, частоту дискретизации данных;

- были также проанализированы другие виды ошибок и искажений, в частности, погрешности алгоритма относительных калибровок, достигающие десятых долей дБ, диаграммоформирующих свойств зондируемой поверхности - для больших углов визирования систематическая ошибка может иметь порядок единиц дБ и т. д.

В результате предложены пути совершенствования разработанной в РИ АНУ радиометрической СФИ, даны рекомендации по выбору ее параметров, созданы программные средства первичной обработки радиоданных: их АЦ-преобразования, накопления, устранения ошибок в длине строк, интерполяции в прямоугольную систему пространственных координат. Однако, дальнейшее повышение качества РМИ возможно лишь за счет использования вторичной обработки данных или более сложных методик формирования РМИ.

В третьем разделе представлена одна из таких методик, основанная на спектральной избыточности собственного широкополосного излучения зондируемых поверхностей и использовании свойства пространственно-частотного изоморфизма, характерного для диапазонов частот шириной до октавы и описываемого выражением

$$S(\omega, \theta) = S_0(\omega)A(\theta), \quad \omega \in [\omega_{\min}, \omega_{\max}], \quad (1)$$

где  $S(\omega, \theta)$  - пространственно-спектральное распределение мощности излучаемых сигналов,  $S_0(\omega)$  - обобщенная форма спектра в пределах частот от  $\omega_{\min}$  до  $\omega_{\max}$ , а  $A(\theta)$  - пространственное распределение интенсивности как функция вектора угловых координат  $\theta$ . Иными словами, предполагается, что для мало отличающихся друг от друга средних длин волн спектральных каналов многочастотной (МЧ) СФИ наблюдается

примерное сохранение интенсивности (контрастов) различных объектов; это положение хорошо согласуется с результатами ряда экспериментальных работ.

Тогда при линейном суммировании изображений с весовыми коэффициентами  $a_k$ ,  $k \in \overline{1, K}$ , получаем результирующие РМИ  $I_{\Sigma}(\bar{\theta})$  в виде

$$I_{\Sigma}(\bar{\theta}) = \int_{\bar{\theta}_0} I(\bar{\theta}_0) h_{\Sigma}(\bar{\theta} - \bar{\theta}_0) d\bar{\theta}. \quad (2)$$

$$h_{\Sigma}(\bar{\theta}) = \sum_{k=1}^K a(w_k) S_0(w_k) h(w_k, \bar{\theta}) \quad (3)$$

где  $h(w_k, \bar{\theta})$  - двумерная АФ для  $k$ -го спектрального канала МЧ СФ РМИ, вид которой зависит от частоты  $w_k$ , размеров раскрыва  $L_{xk}$  и  $L_{yk}$  и типа используемой антенны. Если  $S_0(w)$  - известная или потенциально оцениваемая функция, то вид изображения  $I_{\Sigma}(\bar{\theta})$  можно улучшить, оптимизируя АФ  $h_{\Sigma}(\bar{\theta})$  за счет выбора параметров спектральных каналов  $a_k = a(w_k) S_0(w_k)$  и  $w_k = w_k L_k$ . В отличие от ряда работ, где указанный принцип был использован для улучшения характеристик радио и акустолографических изображений, во-первых, рассмотрен двумерный случай с различными сечениями ДН по плоскостям вдоль и поперек направления движения носителя, во-вторых, получены результаты оптимизации параметров  $h_{\Sigma}(\bar{\theta})$  для  $H$ - плоскости пирамидального, а также обеих плоскостей диагонального и конического рупоров, наиболее типичных для СФИ КМВ-диапазона, и, в-третьих, оптимизация параметров суммарной АФ достигается не только за счет выбора рабочих частот, но и за счет вариации  $L_k$ , в результате чего получаются наилучшие соотношения параметров  $w_k$ .

Оптимизация  $h_{\Sigma}(\theta)$  проводилась по критерию минимума уровня максимального бокового лепестка (УМБЛ) суммарной АФ. Этот параметр зависит от соотношений величин  $\kappa_k$  и  $a_k$ , а также от вида парциальных АФ и числа спектральных каналов  $K$ . По мере увеличения  $K$ , как правило, удается достичь снижения УМБЛ и, вообще, сделать АФ менее изрезанной по сравнению с одночастотным случаем (рис. 1, а). В подтверждение на рис. 1, б приведено сечение  $h_{\Sigma}(\theta)$  для плоскости  $H$  пирамидального рупора при оптимальном  $\kappa_2/\kappa_1=1.32$ ,  $a_2/a_1=1$ ,  $K=2$ , а на рис. 1, в представлено аналогичное сечение при  $K=3$ ,  $a_3=a_2=a_1=1$ ,  $\kappa_3:\kappa_2:\kappa_1=1.41:1.21:1$ . Расширение главного лепестка по уровню - 3дБ равно 16% и 21% соответственно, зато выигрыш в УМБЛ очевиден - 3 и 8 дБ. Аналогичные результаты получены и для других видов парциальных АФ, причем допущение о возможности варьировать  $a_k$  часто позволяет дополнительно снизить УМБЛ. В работе представлены оптимальные соотношения  $\kappa_k$  и  $a_k$  для  $K=2$  и 3, а также наилучшие  $\kappa_k$  при  $K=4$ . Численная оптимизация проводилась методами прямого перебора и случайного поиска с последующим использованием более тонких алгоритмов, что связано с многомодальностью целевой функции и значительным числом варьируемых параметров при  $K=3$  и 4. Отметим, что результаты оптимизации могут зависеть от допустимого соотношения  $\kappa_k/\kappa_1$ . Кроме подавления боковых лепестков и уменьшения их флуктуаций, использование спектральной избыточности приводит к снижению уровня аддитивных и мультипликативных помех, других искажений благодаря механизму некогерентного накопления и усреднения погрешностей, что также способствует повышению качества РМИ.

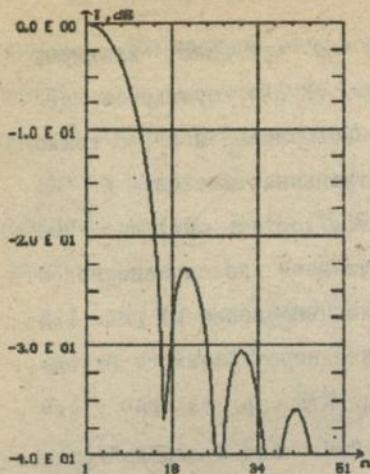


FIG. I, A.

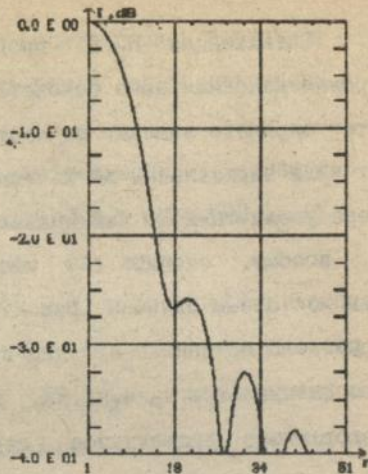


FIG. I, B.

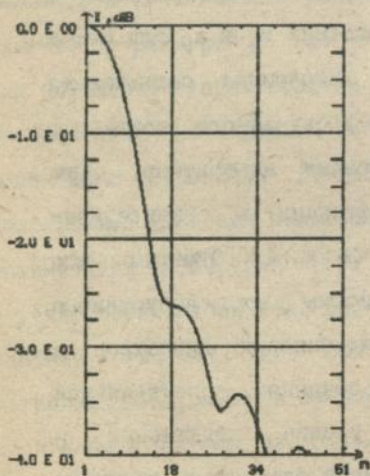


FIG. I, C.

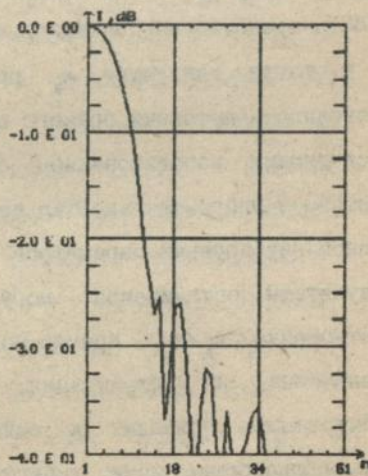


FIG. I, D.

Другой подход к совместной обработке МЧ РМИ заключается в применении ранговых алгоритмов, в частности, при  $K=3$  предусматривается вычисление медианного значения для каждого пиксела  $i, j$  единой сетки пространственных отсчетов:

$$I_p(\bar{\theta}_{ij}) = \text{med}\langle I_k(\bar{\theta}_{ij}) \rangle \quad (4).$$

Основным достоинством этой методики является способность устранить импульсные помехи (аномальные выбросы) благодаря робастным свойствам алгоритма, однако он также позволяет подавить флуктуационные шумы и снизить негативное влияние эффектов, обусловленных боковыми лепестками АФ, проявляющихся в первую очередь для окрестностей контрастных границ и МО. Введено понятие эквивалентной АФ  $h_3(\bar{\theta})$  и для нее по аналогии с линейным случаем (2) проведена оптимизация соотношений параметров  $*_k$  при  $a_k=1$ ,  $K=3$ .

Пример эквивалентной АФ для сечения в плоскости  $N$  для пирамидального рупора показан на рис. 1,г при оптимальном  $*_3: *_2: *_1 = 1.73: 1.25: 1$ . Очевидны как результат оптимизации - наличие двух одинаковых боковых лепестков АФ, так и следствие нелинейности процедуры обработки - появление разрывов первой производной.

Для обеих методик совместной обработки МЧ РМИ - линейной и ранговой - проведен анализ устойчивости полученных оптимальных решений к воздействию дестабилизирующих факторов, в качестве которых рассмотрены: а) неточность обеспечения выбранных  $a_k$  (вследствие аппаратных ошибок или приближенности выполнения условия (1)); б) погрешности обеспечения оптимальных соотношений  $*_k$  из-за технологических погрешностей изготовления антенн и неточности выбора рабочих

частот; в) несоосность максимумов главных лепестков антенн МЧ СФИ из-за ошибок установки рефлекторов на оси сканирующего устройства; г) отличия реальных парциальных АФ (ДН) от их модельных представлений, используемых при оптимизации.

Исследования показали, что существуют устойчивые решения, когда АФ имеют вид, аналогичный  $h_{\Sigma}$  на рис. 1,б, и относительно неустойчивые варианты - при АФ "бутылочного" вида, приведенной на рис. 1,в. Именно такой вид АФ характерен для  $K=3$  и 4, а также в некоторых случаях для  $K=2$  при оптимальных  $\alpha_2/\alpha_1$  и  $a_2/a_1$ . В работе приведены количественные данные, позволяющие оценить дисперсии погрешностей, при которых срыв оптимизации маловероятен. Показано, что весьма сильным дестабилизирующим фактором является несоосность установки антенн, особенно если они остро направленные, изучено совместное влияние ряда факторов.

Для ранговых алгоритмов совместной обработки оптимальное решение также неустойчиво, однако существуют квазиоптимальные соотношения  $\alpha_k$ , обеспечивающие гораздо более высокую способность сохранять УМБЛ при воздействии ДФ. Предложена методика поиска квазиоптимальных решений на основе построения и анализа вида целевой функции, имеющей практически плоские участки и резкие границы, соответствующие срыву оптимизации. Рекомендуется выбирать  $\alpha_k$  подальше от таких границ с учетом имеющейся априорной информации о возможном уровне дисперсии ДФ. Эта методика применима при  $K < 4$  и для линейного алгоритма (3).

Четвертый раздел посвящен исследованию и разработке алгоритмов вторичной обработки РМИ, анализ проводится для

модельных и тестовых, полученных в ходе выполнения физического эксперимента, изображений.

Обсуждена специфика используемых модельных представлений (рис. 2, а), учитывавших разнообразие конфигураций, размеров и контрастов объектов, а также сглаживающее влияние АФ и воздействие аддитивных, мультипликативных и импульсных помех, многие параметры модели могут варьироваться.

Исследована эффективность и применимость ряда известных алгоритмов фильтрации РМИ. Показано, что наиболее целесообразным является использование модификаций ранговых алгоритмов, основанных на вычислении порядковых статистик, учете одновременного воздействия нескольких видов помех и реализации сравнительно простых процедур адаптации, в частности, сигнально-адаптивного медианного фильтра Бернштейна и алгоритма, предложенного Дингом и Венецанопулосом с возможным применением гомоморфного преобразования.

Предложена также модификация сигма-фильтра, отличающаяся учетом аддитивной и мультипликативной составляющих помех при формировании  $2\sigma$ -окрестности центрального элемента скользящего окна и одновременным выполнением контроля числа элементов, попавших в указанную окрестность, и ранга центрального пиксела с целью обеспечения робастных свойств алгоритма. Приведены результаты фильтрации модельных и тестовых РМИ, обсуждены достоинства и недостатки сравниваемых методов вторичной обработки данных.

Апробированы алгоритмы выявления границ объектов и утоньшения линий. Хорошие результаты при оконтуривании

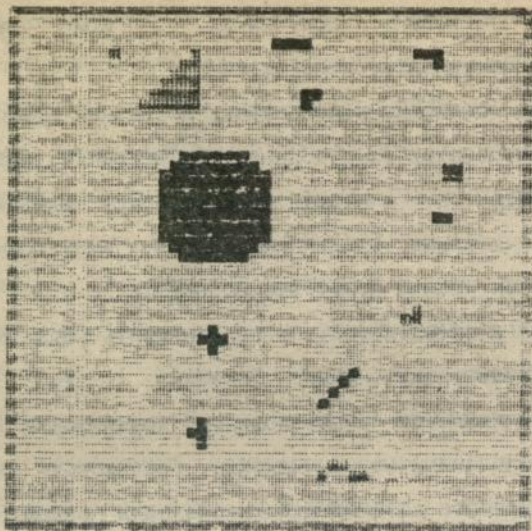


Рис. 2, а.

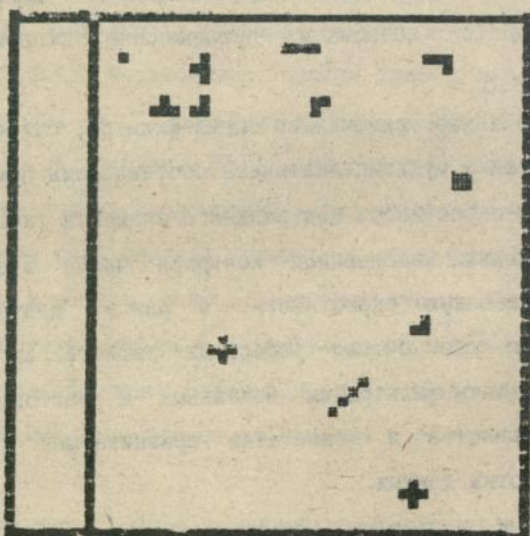


Рис. 2, б.

больших однородных участков достигнуты при использовании квазирангового и дифференциальных алгоритмов. Однако, при оконтурировании МО и последующем утоньшении линий возникают сложности вследствие возможности неоднозначной трактовки результатов сегментации. Это относится также к протяженным одномерным объектам. Следовательно, желательно выявлять такие объекты и устранять соответствующие пиксели из дальнейшего рассмотрения при сегментации.

Предложена автоматизированная процедура (АП) выявления и группировки МО. Предварительно сформулированы признаки таких объектов. Оригинальность АП заключается в своеобразном использовании фильтров для выявления "особых" точек, потенциально принадлежащих МО. Первый из разработанных вариантов предусматривает обработку исходного РМИ медианным фильтром с апертурой, в 3...5 раз превышающей максимальные размеры МО, формирование модуля разностного изображения и его анализ с учетом значений первичного РМИ в каждом пикселе и соответствующих им значений среднеквадратического отклонения. В результате сравнения, использующего статистические критерии, получаем бинарное изображение (см. рис. 2,б), где сохранены (обозначены единицами и темными пикселями) только элементы, принадлежащие МО или соответствующие протяженным одномерным объектам и острым углам однородных больших участков.

Второй предложенный вариант можно считать еще одной модификацией сигма-фильтра, поскольку в скользящем окне подсчитывается число пикселей, попадающих в  $2\sigma$ -окрестность центрального элемента, и проводится его сравнение с заранее

выбранной величиной. В результате также формируется бинарное изображение, где значение единица присваивается пикселям, для которых число попавших в окрестность значений сравнительно мало. Вид полученного бинарного изображения аналогичен приведенному на рис. 2, б, но число выявленных "особых" точек обычно несколько больше.

Затем в соответствии с разработанной процедурой осуществляется проверка всех "особых" точек на однородность, связность, компактность и выполнение условия неперевышения предельно допустимых размеров. Наконец, после проверки выполняется группировка сохраненных "особых" точек в малоразмерные объекты с выводом на печать или экран монитора их характеристик. Обоснована последовательность логических операций и сравнений для обоих этапов. Создано соответствующее программно-алгоритмическое обеспечение, приведены рекомендации, позволяющие повысить быстродействие обработки.

В заключении сформулированы основные результаты, полученные в диссертационной работе:

- проведен систематизированный анализ применений и характеристик РМИ КММВ-диапазона, обсуждены их преимущества и недостатки;
- показана необходимость повышения качества первичных изображений на этапах их формирования, первичной и вторичной обработки пространственных сигналов;
- проведена классификация источников ошибок, помех и искажений, характерных для СФИ сканирующего типа КММВ-диапазона;

- обоснована целесообразность и разработана методика проведения физического эксперимента, позволившая получить количественные оценки степени влияния различных факторов и искажающих воздействий на свойства, параметры и информативность формируемых изображений;
- предложены пути совершенствования характеристик РМ СФИ и обоснованы рекомендации по выбору их параметров, реализации алгоритмов первичной обработки и преобразования принимаемых сигналов;
- рассмотрена возможность повышения качества РМИ за счет использования спектральной избыточности в МЧ-системах ДЗ, решена задача оптимизации вида АФ таких систем при реализации линейных и ранговых алгоритмов совместной обработки изображений, достигнуто снижение УМБЛ МЧ СФИ на  $2 \dots 15$  дБ, что позволяет существенно снизить уровень дифракционных искажений, расширить диапазон идентифицируемых соотношений интенсивностей контрастных объектов, а также одновременно подавить флуктуационные помехи, уменьшить негативное влияние других видов ошибок, устранить аномальные выбросы (при использовании ранговых алгоритмов);
- проанализирована устойчивость полученных оптимальных решений к неточности установки (задания) параметров МЧ СФИ, предложен подход к выбору квазиоптимальных соотношений, обеспечивающий повышение устойчивости в нескольких раз, на основании полученных результатов выработаны рекомендации по выбору числа спектральных каналов, характеристик антенн, технологических допусков изготовления элементов системы;
- для используемых моделей сигналов, помех и искажений

проанализированы эффективность и применимость алгоритмов вторичной обработки (фильтрации и начальных этапов сегментации), указаны и предложены модификации фильтров, наиболее приемлемые для сглаживания РМИ КММВ-диапазона;

- разработана автоматизированная процедура выделения и локализации МО, позволяющая выполнить эту операцию достаточно просто и с высоким быстродействием;

- создано программно-алгоритмическое обеспечение для цифровой обработки пространственных сигналов на различных этапах формирования, повышения качества и анализа РМИ, а также для решения ряда исследовательских и оптимизационных задач.

В Приложении 1 изложены результаты количественного анализа характеристик и свойств фильтров при обработке тестового изображения, полученного в ходе выполнения физического эксперимента.

Приложение 2 содержит данные анализа устойчивости модификаций ранговых алгоритмов фильтрации к воздействию импульсных помех.

Основное содержание работы изложено в следующих публикациях:

1. Горбуненко Б. Ф., Лукина И. С. Спектральный синтез ППФ СФИ с круглой апертурой. // Научно-техн. конф. "Актуальные вопросы астрофизики и радиофизики". Апрель 1990 г., Харьков: Тез. докл., Харьков, 1990. - С. 11.

2. Руженцев Н. В., Лукина И. С., Чурилов В. П. Комплекс средств обработки информации в системе радиокартографирования в ММ ДВ. // Всес. конф. "Радиофизическая информатика".

Ноябрь 1990 г., Москва: Тез. докл., Москва, 1990. -С. 58-59.

3. Лукина И.С., Руженцев Н.В., Чурилов В.П. Анализ источников ошибок формирования изображений в системе радиокартографирования диапазона 94 ГГц. //2-я Всесоюзная конференция "Методы и средства представления и обработки случайных сигналов и полей". Сентябрь 1991 г., Туапсе: Тез. докл., Харьков, 1991. -С.206.

4. Горбуненко Б.Ф., Лукина И.С. Статистические характеристики передаточной функции многочастотной системы формирования радиоизображений. // Всес. школа-семинар "Статистические методы обработки сигналов и изображений", Новороссийск, сент.1991: Тез. докл., Новороссийск, 1991. -С.34.

5. Кузьменко Ю.А., Лукина И.С., Руженцев Н.В. Методика и результаты экспериментального исследования системы формирования радиометрических изображений КММВ-диапазона. //Конф. по приборам, технике и распространению ММ и субММ волн, Харьков, июнь 1992: Тез. докл., Харьков, 1992. -С.94.

6. Лукина И.С. Ранговые алгоритмы совместной обработки многочастотных радиометрических изображений. // Конф. по приборам, науке, технике и распространению ММ и субММ радиоволн, Харьков, июнь 1992:Тез. докл., Харьков,1992. -С.95.

7. Чурилов В.П., Лукина И.С. Автоматизированные процедуры обнаружения малоразмерных объектов по радиометрическим изображениям КММВ-диапазона. // II научн. конф. "Применение дистанционных радиофизических методов в исследованиях природной среды". Июль 1992 г. Муром: Тез. докл. Москва,1992. -С. 186.

8. Churilov V., Lukina I., Ruzhentsev N. Short-Millimeter

Radiometric Images: Characteristics and Algorithms of Processing. // Intern. Conf. "Signal/Image Processing and Pattern Recognition", (Kyjiv, November 1992): Proceedings, Kyjiv, 1992, p.192.

9. Лукина И.С. Использование совместной обработки многочастотных радиометрических изображений КММВ-диапазона для повышения их качества. // Использование математических методов и информационных технологий в технических и экономических системах. - Сб. трудов Института кибернетики АНУ, 1992. С. 148-159.

10. Лукина И.С., Чурилов В.П. Цифровые алгоритмы выделения малоразмерных объектов на радиометрических изображениях. // Конф. "Проблемы точности, надежности и диагностики радиотехнических систем". Январь 1993, Винница: Тез. докл. -Киев, 1993. -С.46.

11. Чурилов В.П., Лукина И.С. Коротковолновые радиометрические изображения: их особенности и алгоритмы обработки. // Управляющие системы и машины. - Сб. научн. ст. - Киев: Наукова думка, 1993. -С.124-131.

*С. Лукина*

---

Подписано к печати 11.04.94 г.  
Формат 60x84 1/16. Уч. -изд. л. 0,95  
Тираж 100. Зак. 11. Бесплатно.

---

Ротапринт Института монокристаллов  
Харьков, пр. Ленина, 60.  
30-70-97.

403170

AB 30.05

**AB 30.051**