

## ЭЛЕКТРОННЫЕ МОДУЛИ И АЛГОРИТМЫ ОБРАБОТКИ РАДИОЛОКАЦИОННЫХ ИЗОБРАЖЕНИЙ

© 2016 г. Е.Ф. ПЕВЦОВ, П.А. ГОРБОКОНЕНКО

Центр проектирования интегральных схем, устройств  
нанoeлектроники и микросистем МИРЭА, г. Москва  
e-mail: gorbokonenko@mirea.ru

Радиолокация активно развивающийся метод сбора информации о наземных объектах, а также объектах, близко залегающих к грунту. Для получения радиолокационного изображения радиолокационная установка посылает зондирующий сигнал с известной частотой и амплитудой, а затем принимает и анализирует отраженный сигнал от подстилающей поверхности.

Существует несколько способов радиолокаций, но наиболее востребованный – радиолокация синтезированной апертурой (РСА). Суть данного способа заключается в том, что на летательном аппарате устанавливается антенна с малой апертурой (порядка 1 – 2 м). Основная идея РСА заключается в следующем: радар перемещается вдоль интересующего сектора подстилающей поверхности, излучая с определенной частотой микроволновый зондирующий сигнал (широкое применение находит сигнал с линейно-частотной модуляцией (ЛЧМ)). Принятые импульсы предварительно обрабатываются и направляются в процессор формирования изображения, который на выходе генерирует двумерное отображение освещенной сцены.

Полученное двумерное изображение получается относительно дальности и азимута летательного аппарата носителя. Часто отсчеты по дальности в иностранной литературе называют быстрыми отсчетами (fast-time sample), а по азимуту – медленными отсчетами (slow-time sample). Разрешение по дальности РСА имеет прямую зависимость от диапазона частот зондирующего сигнала, а разрешение по азимуту от апертуры антенны. По этой причине, высокое разрешение по азимуту получается путем когерентной обработки отраженных сигналов на всем пути следования летательного аппарата, что эмулирует большую апертуру антенны[1].

Типичные размер изображения для радиолокационных снимков составляет 4096x4096 точек. Для получения пользователем оперативной информации с летательного аппарата, необходимо произвести максимально быстрое преобразование радиолограммы, желательно в масштабе реального времени, и передать изображение пользователю. Таким образом, задача обработки радиолокационного сигнала может быть разделена на два основных типа:

- декодирование радиолограммы;
- сжатие полученного изображения.

Среди алгоритмов обработки радиолограммы, широкое применение нашел алгоритм быстрой свертки (Range-Doppler algorithm в иностранной литературе). Блок-схема этого алгоритма представлена на рис. 1. Основной частью этого алгоритма является преобразование Фурье, что позволяет применить параллельную обработку данных.

В частности, компания Texas Instruments предлагает встраиваемые решения с реализацией данного алгоритма на базе восьмиядерного DSP процессора TMS320C6678[2].

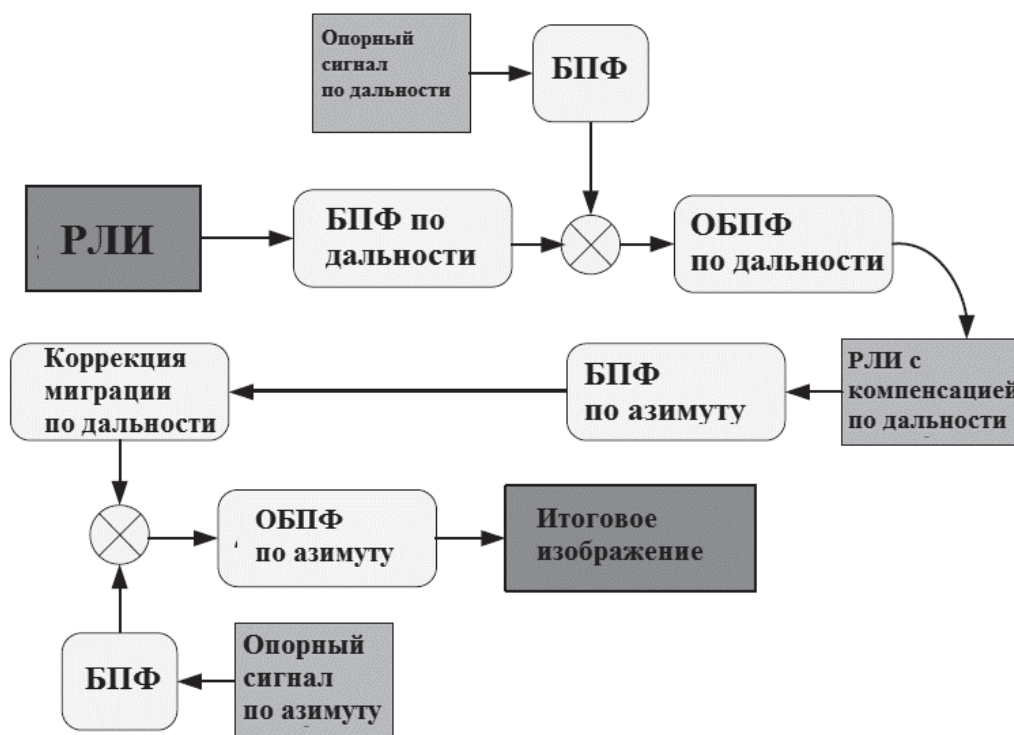


Рис. 1. Блок-схема алгоритма быстрой свертки.

Существует ряд проблем, с которыми необходимо столкнутся, при проектировании РСА. Одной из основных проблем при сборе данных является влияние радиочастотных помех на отраженный сигнал. Источником большинства радиочастотных помех являются сигналы, передаваемые коммуникационными системами, телевизионная сеть, радарные системы, используемые для управления авиационным трафиком прочие источники излучения частота которых перекрывает частоту работы РСА. Радиочастотные помехи на изображении часто представляют собой яркие линии в азимутальном направлении [3].

Один из методов борьбы с такими помехами, это применение преобразования Хафа. Данный метод позволяет обнаружить линейные элементы в зашумленном изображении. Таким образом, очистка от шума проводится в два этапа. На первом шаге, при помощи преобразования Хафа находится радиочастотная помеха, а на втором шаге, при помощи режекторного фильтра, данная помеха исключается из полученного изображения (рис. 2).

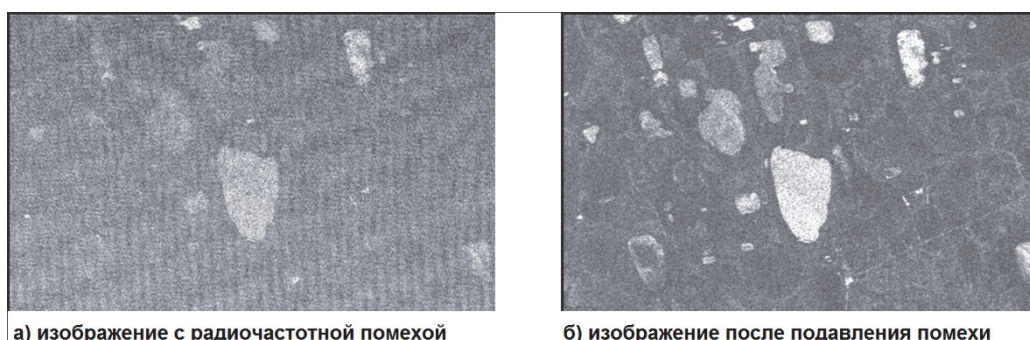


Рис. 2. Сравнение изображений до и после подавления помехи.

Основным этапом развития РСА является бортовая обработка полученных сигналов. Суть в том, что до недавнего времени, летательный аппарат только собирал “сырые данные”, которые необходимо дополнительно обработать, для получения изображения применимого для анализа пользователем или системами компьютерного

зрения. Аппаратура для подобного преобразования и дальнейшей обработки располагается на земле. Однако, как отмечалось выше, радиолокационные изображения имеют высокое разрешение, что затрудняет их передачу на наземные станции, особенно если радиолокационная система находится на спутнике.

Для решения этой задачи широко применяются системы на кристалле (SoC) [4] или программируемая логическая интегральная схема (ПЛИС) [5]. Системы на их основе устанавливаются на летательный аппарат, что позволяет производить не только сбор данных, но и обработку полученных данных, причем как первичную (связанную с удалением шумов), так и вторичную (декодирование полученных данных).

Системы, построенные на SoC и на ПЛИС имеют свои достоинства и недостатки. Так SoC может включать в себя процессор с дополнительными блоками для аппаратного ускорения цифровой обработки сигналов. Для реализации алгоритмов первичной и вторичной обработки, на таких системах, достаточно отладить программный код на обычном компьютере, и оптимизировать его для выбранной системы с учетом наличия тех или иных аппаратных ускорителей. При реализации на ПЛИС, разработчику необходимо не только реализовать алгоритм, но и реализовать аппаратные модули, реализующие его работу, что требует значительно большего времени. Однако бесспорное достоинство ПЛИС заключается в том, что все реализованные модули будут работать параллельно, что позволяет при грамотном проектировании, повысить пропускную способность системы, по сравнению с аналогичной системой на SoC.

NASA планирует совместно с ISRO (Indian Space Research Organization) запустить спутник с двухчастотной радарной системой с синтезированной апертурой. Данный радар является первым в мире двухчастотным радаром [6]. Запуск планируется на 2019-2020 год, продолжительность миссии 3 года. NASA разрабатывает радар с синтезированной апертурой работающей в L частоте (длина волны 24см), систему с высокой пропускной способностью для обмена данными, GPS приемник, твердотельный накопитель. ISRO разрабатывает радар с синтезированной апертурой S диапазона (длина волны 12см) и платформу. Антенна из сеточных рефлекторов с апертурой 12 м.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Радиолокационные системы воздушной разведки, дешифрирование радиолокационных изображений: учебник для курсантов ВВИА имени профессора Н.Е. Жуковского / Под ред. Л.А. Школьного. – М.: изд. ВВИА им. проф. Н.Е.Жуковского, 2008 – 531 с.
2. Implementing a Real-time Synthetic Aperture Radar (SAR) Algorithm on TI's C6678 DSP Reference Design [Электронный ресурс] – ноябрь – 2015 г.– Режим доступа: <http://www.ti.com/lit/ug/tidub40/tidub40.pdf>
3. Franz J. Meyer, Member, IEEE, Jeremy B. Nicoll, Member, IEEE, and Anthony P. Doulgeris, Member, IEEE Correction and Characterization of Radio Frequency Interference Signatures in L-Band Synthetic Aperture Radar Data / IEEE transactions on geoscience and remote sensing, vol. 51, no. 10, октябрь - 2013, - с. 4961-4972.
4. Dr. Slaheddine Aridhi, Sneha Narnakaje Optimizing Synthetic Aperture Radar design with TI's integrated 66AK2L06 SoC / Texas Instruments [Электронный ресурс] - апрель – 2015 г. 12 с. Режим доступа: <http://www.ti.com/lit/wp/spry284/spry284.pdf>
5. Quan Y, Li Y, Hu G, Xing M. Real-time implementation of frequency-modulated continuous-wave synthetic aperture radar imaging using field programmable gate array. / Review of Scientific Instruments. - Volume 86, Issue 6 – июнь - 2015.
6. <http://eosps.nasa.gov/missions/nasa-isro-synthetic-aperture-radar>