

разрабатываемых систем, позволяющее значительно сократить сроки и повысить качество будущих изделий. Программирование пользователем микросхем в конструктивно законченной среде позволяет многократно использовать одну отладочную плату для прототипирования различных систем. Специализированные решения для FPGA прототипирования можно найти у многих компаний, специализирующихся на разработке средств САПР для микроэлектроники.

ЛИТЕРАТУРА

1. Horowitz, P. Programmable Logic Devices / P. Horowitz, W. Hill // The Art of Electronics / New York, 2015. – Ch. 11.- P. 764-789.
2. Шагурин, И. «Большие» FPGA как элементная база для реализации систем на кристалле / И. Шагурин, В. Шалтырев, А. Волон // Электронные компоненты. - 2006. - № 5. - С. 83–88.
3. Тарасов, И.Е. ПЛИС Xilinx. Языки описания аппаратуры VHDL и Verilog, САПР, приемы проектирования / И.Е. Тарасов // Москва: Научно-техническое издательство «Горячая линия – Телеком», 2019. -538 с.

Е.Р.АДАМОВСКИЙ<sup>1</sup>, Н.М.НАУМОВИЧ<sup>2</sup>, Т.Н.ДРОВОСЕKOBA<sup>1</sup>, И.Ю.ЗАХАРОВА<sup>1</sup>

**ПРЕОБРАЗОВАНИЕ ДАННЫХ НУЛЕВОГО УРОВНЯ СИСТЕМЫ COSMO-SKYMED В ПРОДУКТ УРОВНЯ 1А**

<sup>1</sup>Учреждение образования «Полоцкий государственный университет», г. Новополоцк, Республика Беларусь

<sup>2</sup>Учреждение образования «Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники», г. Минск, Республика Беларусь

Системы дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ) на основе радиолокаторов с синтезом апертуры осуществляют орбитальную съемку и во многих случаях данные, полученные с помощью искусственных спутников Земли (ИСЗ), передаются на наземные станции в виде набора значений отражённых сигналов и вспомогательной информации для возможности формирования и дальнейшей обработки изображения с использованием прикладных программных пакетов. При этом важно, чтобы информация была представлена в формате, совместимом с программным обеспечением. Система ДЗЗ COSMO-SkyMed позволяет получать высококачественные радиолокационные изображения и представляет возможность получать необработанные данные пользователям. Для дальнейшего применения их необходима фокусировка и представление в виде продукта уровня 1А. Данная задача может быть решена на основе алгоритма.

Чтение «сырых» данных РГГ из набора данных ROOT/S01/B001, их фокусировка и запись в набор данных SBI (Single Beam Image) каталога ROOT/S01. Для восстановления полного сфокусированного изображения требуется следующий набор операций: открытие соответствующих бинарных файлов; считывание вспомогательной информации о высоте и ширине содержащихся в файлах блоков данных; определение объема памяти, занимаемого бинарными файлами для вычисления количества записанных в них фрагментов РЛИ с учетом места, занимаемого заголовком, и типа данных; чтение последовательности данных и их преобразование в двухмерный массив отдельно для вещественных и мнимых данных; формирование финального комплексного набора данных путем объединения полученных массивов с последующим поворотом на 90° и отражением для согласования с данными геодезических координат.

Фокусировка радиолограммы (РГГ) из набора данных ROOT/S01/B001 продукта нулевого уровня системы COSMO-SkyMed может быть описана последовательностью действий:

1) чтение необходимого перечня атрибутов и наборов данных, включая массив комплексных значений РГГ и комплексный вектор REPLICА (опорный ЛЧМ-сигнал). Подготовка считанных данных для последующей обработки: транспонирование и формирование двухмерного массива РГГ, удаление из него пустых строк и преобразование в тип данных с плавающей точкой, вращение радиолокационного изображения (РЛИ) QLK на 270 градусов с целью получения аналогичной РГГ ориентации сторон;

2) вычисление опорной функции по дальности, которая является комплексно-сопряженным сигналом в частотной области вектору REPLICА, выполняется с помощью быстрого преобразования Фурье (БПФ). Для возможности применения эффективного алгоритма БПФ осуществляется

увеличение размерности функции до значения длины, кратной степени числа 2, которое выбирается как наименьшее превышающее количество отсчетов РГГ по дальности;

3) сжатие по дальности осуществляется путем последовательного считывания блоков данных из подготовленной РГГ с преобразованием в частотную область и поэлементным умножением на опорную функцию. Полученный результат с помощью обратного преобразования Фурье (ОБПФ) требуется перевести во временную область. Вычисление действительного количества отсчетов по дальности и размера апертуры необходимо для корректного совмещения фрагментов РЛИ с целью устранения эффекта «призрачных объектов»;

4) формирование опорной функции по азимуту включает в себя вычисление на основе атрибутов продукта ряда параметров: центральная доплеровская частота, скорость ее изменения, массив «медленного времени», в течение которого точка находится в пределах диаграммы направленности антенны. Таким образом, формируется массив опорных сигналов для каждой строки фокусируемой РГГ;

5) сжатие по азимуту производится в частотной области путем перемножения сфокусированных по дальности данных на комплексно-сопряженную опорную функцию по азимуту с последующим преобразованием во временную область;

6) характерный размер РГГ составляет  $4 \times 10^8$  элементов, что, при использовании типа данных двойной точности double, соответствует объему памяти 3 Гб. С целью снижения нагрузки на вычислительное устройство фокусируемое изображение последовательно записывается в промежуточные файлы и удаляется из оперативной памяти;

7) заключительный этап предполагает объединение всех полученных фрагментов и геометрической коррекции изображения, при этом выполняется усреднение определенного количества отсчетов, что также улучшает контраст изображения с низким значением спекл-шума.

Для представления метаданных и сфокусированных радиолокационных данных в формат HDF5 используется подход, представленный в [1]. Создание целевого файла, включая базовую структуру каталогов и наборов данных, соответствующих спецификации [2] продукта COSMO-SkyMed уровня 1A: каталог ROOT; каталог ROOT/S01; каталог ROOT/S01/B001; наборы данных ROOT/S01/B001/SBI и ROOT/S01/B001/QLK. Между атрибутами продуктов уровней 0 и 1A существуют отличия, атрибуты нулевого уровня, не имеющие аналогов в наборах данных уровня 1A, игнорируются при переносе. Также продукт нулевого уровня не содержит набора SBI, атрибуты которого следует сформировать самостоятельно на основе имеющихся данных. Вычисление и запись дополнительных атрибутов, отсутствующих в продукте нулевого уровня, или присутствующих под другим именем и/или в другом каталоге или наборе данных, а также атрибутов, определенных технической документацией.

На рис. 1 показано РЛИ “Intensity”, автоматически построенное с помощью ПО NEST 5.1 на основе записанных в файл HDF5 комплексных данных.

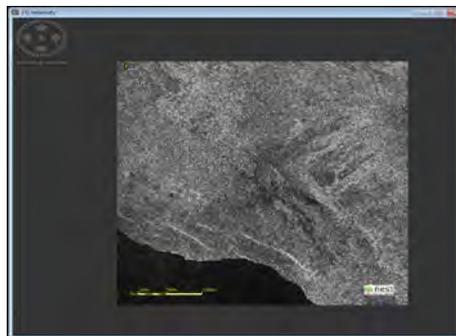


Рисунок 1 – Сфокусированное РЛИ, сформированное с помощью ПО NEST 5.1

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Адамовский, Е.Р. Алгоритм представления метаданных и сфокусированных радиолокационных данных в формат HDF5 /Е.Р. Адамовский, Р.П. Богуш// Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. – 2020. - Т.17 -№2-С.19-29.
2. Никольский, Д.Б. Уровни обработки радиолокационных данных / Д.Б. Никольский // Геоматика. –2008. –№ 1. – С. 25–36.