PolotskSU

Министерство образования Республики Беларусь
УЧРЕЖДЕНИЕ ОБРАЗОВАНИЯ
«ПОЛОЦКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»

УДК 621.396
№ госрегистрации 20160440
Инв №

Проректор по научной работе
к.т.н., доцент
_____ Д.О. Глухов

«28» декабря 2018г.

ОТЧЕТ
О НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКОЙ РАБОТЕ
«Форматы и особенности представления основных и вспомогательных радиолокационных данных дистанционного зондирования Земли космического радиолокатора с синтезированной апертурой X-диапазона»

в рамках задания
«Исследования по формированию состава и форматов представления основных и вспомогательных радиолокационных данных дистанционного зондирования Земли космического радиолокатора с синтезированной апертурой X-диапазона»
(заключительный)

ГПНИ «Информатика, космос и безопасность» 1.1.11

Начальник ОСНИ _____Т.В. Гончарова

«28» декабря 2018г.

Научный руководитель
заведующий кафедрой ВСиС,
к.т.н., доцент _____Р.П. Богуш

«28» декабря 2018г.

Новополоцк 2018

PolotskSU

СПИСОК ИСПОЛНИТЕЛЕЙ

Руководитель, заведующий кафедрой вычислительных систем и сетей, к.т.н., доцент	_____	Богуш Р.П. (введение, п.1.3,2.1, гл. 3 заключение)
Старший преподаватель кафедры энергетики и электроники, м.т.н., ответственный исполнитель	_____	В.М. Чертков (п.1.2, п.3.3)
Ассистент кафедры вычислительных систем и сетей, м.т.н.	_____	С.А. Игнатьева (п.1.1, 3.2)
Магистрант кафедры вычислительных систем и сетей	_____	И.Ю. Захарова (п.2.1-2.2, 3.1)
Нормоконтролер	_____	Ищенко Л.В.

PolotskSU

Реферат

Отчет 70 с.,20 рис., 2 табл., 31 источник, 4 прил.

РАДИОЛОКАТОР, СИНТЕЗИРОВАННАЯ АПЕРТУРА, ОБРАБОТКА СИГНАЛОВ, УРОВНИ РАДИОЛОКАЦИОННЫХ ДАННЫХ, ФОКУСИРОВКА

Цель - исследование особенностей и форматов представления данных функционирования радиолокатора с синтезом апертуры дистанционного зондирования Земли для построения радиолокационного изображения.

При проведении исследований использовались методы цифровой обработки сигналов, векторно-матричных операций, дискретной математики, программирования и компьютерного моделирования.

Определены требования к формату и составу представления необработанных радиолокационных данных дистанционного зондирования Земли в соответствии с требованиями Комитета по спутниковым наблюдениям Земли. Для представления необработанных радиолокационных данных применяется формат, предписывающий использование структуры из четырех файлов, включая файл каталога тома, файл заголовка, файл данных, файл нулевого тома.

Определены состав и структура представления обработанных до уровня 1 В радиолокационных данных и вспомогательных метаданных спутника TerraSAR-X. Основные данные в комплексном виде представляются в файле формата COSAR в виде прямоугольной матрицы, в которой каждый столбец соответствует расстоянию по дальности и содержит информацию о данных азимута. Метаданные располагаются в первых четырех строках матрицы и в начале каждой последующей строки.

Разработан алгоритм сжатия радиолокационных данных на основе энтропийно-ограниченного блочного адаптивного квантования, который требует выполнения этапов для блока: расчет количества уровней; определение размера шага; квантование данных на основе рассчитанных значений; определение среднеквадратического отклонения (СКО); вычисление энтропии; если значение энтропии больше заданной разрядности выходных данных, то повтор квантования с уменьшенным на единицу шагом; если значение СКО больше порогового уровня, то увеличение на единицу числа уровней и повтор квантования; если максимальный индекс квантователя превышает значение разрядности выходных данных, то повтор квантования с увеличением пороговых значений; запись индексов уровней и максимальной амплитуды; кодирование алгоритмом Хаффмана.

Результаты НИР используются при организации учебного процесса для студентов специальностей 1-39 01 01 «Радиотехника» и 1-40 02 01 «Вычислительные машины, системы и сети» первой ступени высшего образования и специальности 1-40 80 04 «Математическое моделирование, численные методы и комплекс программ» второй ступени высшего образования.

PolotskSU

Содержание

Введение 6
1 Форматы представления радиолокационных данных 8
1.1 Представление необработанных данных в формате CEOS 8
1.1.1 Состав и общая структура 8
1.1.2 Структура файла каталога тома 9
1.1.3 Структура файла заголовка 10
1.1.4 Структура файла данных 13
1.1.5 Структура файла нулевого тома 14
1.2 Представление радиолокационных данных с учетом особенностей структуры и формата системы TerraSAR-X 15
1.2.1 Общая структура пакета данных 15
1.2.2 Изображения предварительного просмотра 17
1.2.3 Особенности представления данных радиолокационного изображения в формате COSAR 17
1.2.4 Вспомогательные данные геопривязки 21
1.2.5 Методика представления радиолокационных данных в формате COSAR 22
1.3 Представление радиолокационных данных группой спутников COSMO-SkyMed 23
1.3.1 Уровни формируемых данных 23
1.3.2 Особенности структуры и формата представления данных 24
1.3.2.1 Описание групп 25
1.3.2.2 Описание наборов данных 26
2 Разработка алгоритмов сжатия и пакетирования радиолокационных данных 28
2.1 Модифицированный алгоритм сжатия на основе энтропийно-ограниченного блочного адаптивного квантования 28
2.2 Алгоритм пакетирования данных 29
3. Моделирование алгоритмов обработки сигнала и базовой схемы построения радиолокационного изображения 32
3.1 Моделирование пакетирования данных 32
3.2 Моделирование формирования радиолокационного изображения для данных, представленных в формате CEOS 34
3.2.1 Программная реализация модели 34
3.2.2 Анализ представляемых данных ERS-1 и ERS-2 39
3.2.3 Обработка данных со спутника ERS-1 41
3.2.4. Обработка данных со спутника ERS-2 43
3.3 Моделирование базовой схемы обработки сигналов РСА 45
Заключение 47
Список использованных источников 49

Приложение А Состав необработанных радиолокационных данных в соответствии с рекомендациями CEOS 52
Приложение Б Перечень публикаций по заданию 1.1.11 за 2016-2018гг 65
Приложение В Список конференций, на которых представлялись результаты исследований 67
Приложение Г Акты внедрения результатов НИР 68

PolotskSU

PolotskSU

Введение

Одной из приоритетных задач мирового сообщества в настоящее время является обеспечение глобального мониторинга Земли при различных метеорологических условиях [1,2]. Среди существующих методов дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ), системы на основе радиолокаторов с синтезированной апертурой антенны (РСА), установленные на космических аппаратах, позволяют получать детальные радиолокационные изображения местности с качеством близким к оптическим системам, в любых метеоусловиях и в любое время суток. Преимущество радиолокационного зондирования состоит в том, что оно является средством выявления физических свойства объектов в СВЧ-диапазоне волн и измерительным инструментом с возможностями использования фазовой информации, применении широкого набора режимов съемки и алгоритмов обработки данных. Это позволяет существенно расширить круг решаемых прикладных задач в научных и хозяйственных сферах, а также при мониторинге катастроф и чрезвычайных ситуаций, обеспечении государственной безопасности [1].

С момента появления коммерчески доступных систем обработки радиолокационных данных появилась необходимость их стандартизации, что привело к созданию Комитета по спутниковым наблюдениям Земли и (Committee on Earth Observation Satellites – CEOS), в который вошли 28 космических агентств. Данным комитетом приняты стандарты по уровням обработки радиолокационных данных и формату CEOS для их представления [3]. В общем, выделяют следующие уровни представления радиолокационных данных космической съемки [4,5]: необработанные данные, которые представляют собой радиоголограмму (РГГ), и набор метаданных; предварительно обработанные данные, для которых выполнена радиометрическая и геометрическая коррекция; вторично обработанные данные, имеющие к тому же пространственную привязку в заданной системе координат. Однако, некоторые космические агентства, базируясь на принятых стандартах, используют свои представления и обозначения уровней [4]. Известно, что чем ниже уровень обработки данных, тем меньше вероятность возникновения ошибок, достаточно просто организовать изменение алгоритмов при обработке, возможны максимальная автоматизация процесса и сокращение времени обработки и объема памяти [1,6]. При этом, определение состава и формата представления основных и вспомогательных данных при описании радиолокационных данных требует учета многих разнородных факторов процесса функционирования РСА и его носителя [5]. Данные, представляемые на начальном уровне, сложнее всего стандартизировать и привести к единому формату, что объясняется различными характеристиками и режимами работы аппаратных комплексов и самих первичных датчиков. Формат CEOS для необработанных радиолокационных данных ДЗЗ включает набор фиксированных записей основных данных и метаданных, состоящий из смеси ASCII и бинарных записей [3]. Для представления данных более высокого уровня

разработаны специализированные форматы, которые в других системах ДЗЗ не используются, например формат COSAR разработан для представления данных спутника TerraSAR.

Полученные радиолокационные данные обрабатываются, как правило, с использованием существующих коммерческих пакетов, которые учитывают особенности представления первичных данных РСА. Применяется ряд коммерческих и свободно распространяемых прикладных программ, специально предназначенных для работы с радиолокационными данными. Для прикладных модульных программ могут создаваться отдельные специальные модули, позволяющие проводить обработку поляриметрических данных. Они позволяют проводить синтез изображений из комплексных изображений первого уровня Single Look Complex Image (SLC), калибровку данных, расчет различных поляриметрических параметров, когерентностей и других параметров. Поэтому, при разработке радиолокатора дистанционного зондирования Земли необходима привязка получаемых первичных и вторичных данных к формату, который поддерживается большинством существующих программных пакетов обработки радиолокационного изображения.

Метрологическое обеспечение НИР: компьютеры CPU Intel(R) Core(TM)2 Duo 2.6ГГц, ОЗУ4.0ГБ и CPU Intel(R) Core(TM)i5-4460 3.2ГГц, ОЗУ16.0 ГБ; пакет прикладных программ для решения задач технических MatLab; выходные необработанные данных спутников ERS-1 и ERS-2.

PolotskSU

PolotskSU

1 Форматы представления радиолокационных данных

1.1 Представление необработанных данных в формате CEOS

1.1.1 Состав и общая структура

Различают основные и вспомогательные (метаданные) радиолокационные данные. К основным данным относятся квадратурная и синфазная составляющие отраженного от зондируемой поверхности сигнала, принятые радиолокатором и зафиксированные в дискретные отсчеты времени. К вспомогательным данным (метаданным) относятся [1,3]:

– служебная информация;

– хронологические и пространственные характеристики (дата и времена формирования РГГ, скорость перемещения, орбитальные и наземные координаты спутника);

– параметры бортовой аппаратуры и датчиков (калибровочные коэффициенты, углы наклона и поворота датчиков, углы совмещения с опорным направлением, параметры зондирующих сигналов);

– различные статистические данные , параметры качества снимка, описание источников данных и т.д.

При формировании состава основных и вспомогательных радиолокационных данных дистанционного зондирования Земли на основе радиолокаторов с синтезированной апертурой можно руководствоваться требованиями CEOS согласно таблице, представленной в приложении А, в которой приведено описание типа данных и требований к их представлению, также приведен пример представления данных РГГ.

Для представления радиолокационных данных ДЗЗ в формате CEOS используется структура из четырех файлов (рисунок 1) [3]: файл каталога тома (Volume directory file); файл заголовка (Leader file); файл данных (Data set file); файл нулевого тома (Null volume file).

Каждый файл содержит фиксированное количество записей, кроме файла с данными радиолокационного изображения, т.к. оно может иметь различный размер, зависящий от времени его синтезирования РСА. Каждая запись имеет фиксированный размер, кроме записи с необработанными данными о положении платформы, находящейся в файле заголовка, что связано с количеством опорных точек, выбираемых для совмещения. Первые двенадцать байт каждой записи имеют одинаковую структуру и включают информацию о порядковом номере записи (с первого по четвертый байт), типе кода записи для ее идентификации при обработке (CEOS код), который расположен с пятого по восьмой байт, и длине записи с девятого по двенадцатый байт. Каждая запись разделена на области, которые в зависимости от содержимого имеют определенный формат, описание которого включает две части. Для первой части используется буквенное обозначение областей:

PolotskSU

A – буквенно-цифровая;
B – код CEOS;
I –целочисленные данные;
F – числовая с плавающей точкой;
E – числовая экспоненциальная область.

Вторая часть описания представляется числом, указывающим количество байт, занимаемых данной областью. Если вторая часть представлена дробным числом, то целая часть числа представляет информацию об общем количестве байт области, а вторая часть числа представляет информацию о количестве байт, отведенных для дробной части.

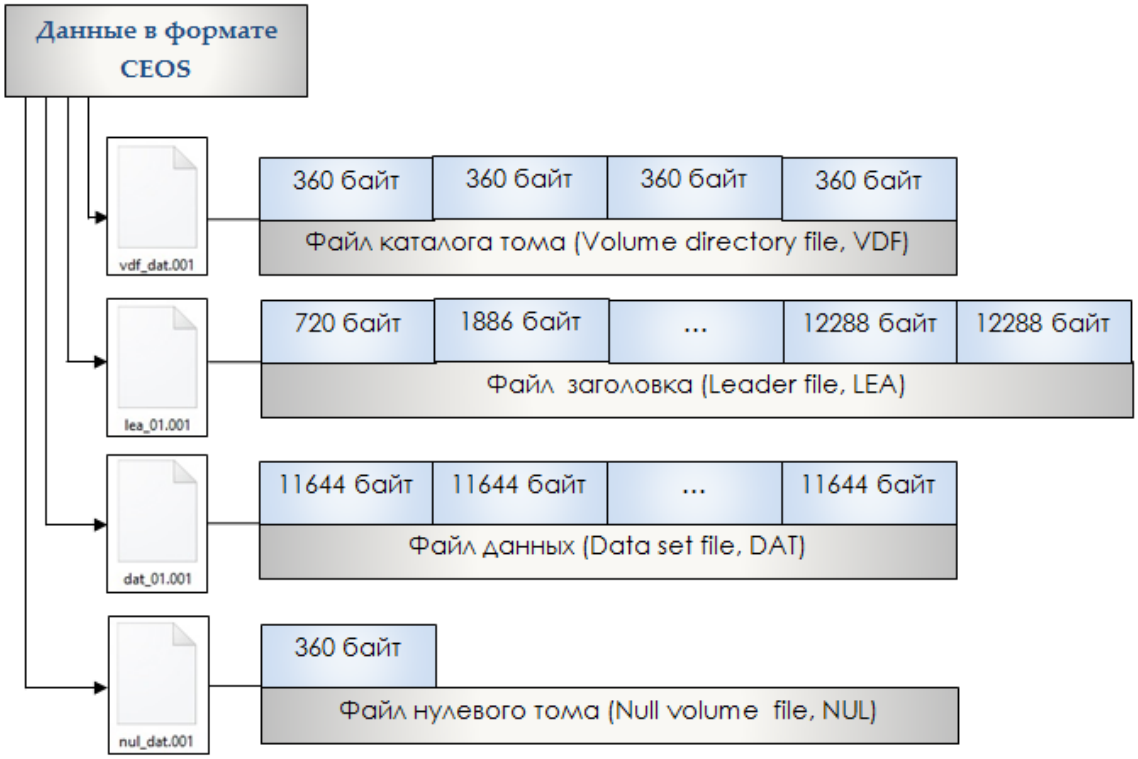


Рисунок 1 – Структура представления радиолокационных данных в формате CEOS

1.1.2 Структура файла каталога тома

Файл каталога тома содержит запись описания тома, запись указателя на файл заголовка, запись указателя на файл данных, текстовую запись (рисунок 2).

Запись описания тома (дескриптора) содержит идентификаторы физического и логического томов, количество томов, их порядковые номера, дату, время, страну, организацию создания тома, CEOS код данной записи - 192,192,18,18.

Запись указателя на файла заголовка включает имя файла, класс, тип данных, тип длины (постоянная или переменная), максимальную длину записи в указанном файле, номер физического тома, CEOS код данной записи - 219,192,18,18;

PolotskSU

Запись указателя на файла данных хранит имя файла, класс, тип данных, тип длины, максимальную длину записи в указанном файле, номер физического тома, 219,192,18,18;

Текстовая запись содержит текстовую информацию о спецификации типа продукта, местоположение и дату создания продукта, идентификатор и местоположение сцены, CEOS код данной записи -18,63,18,18

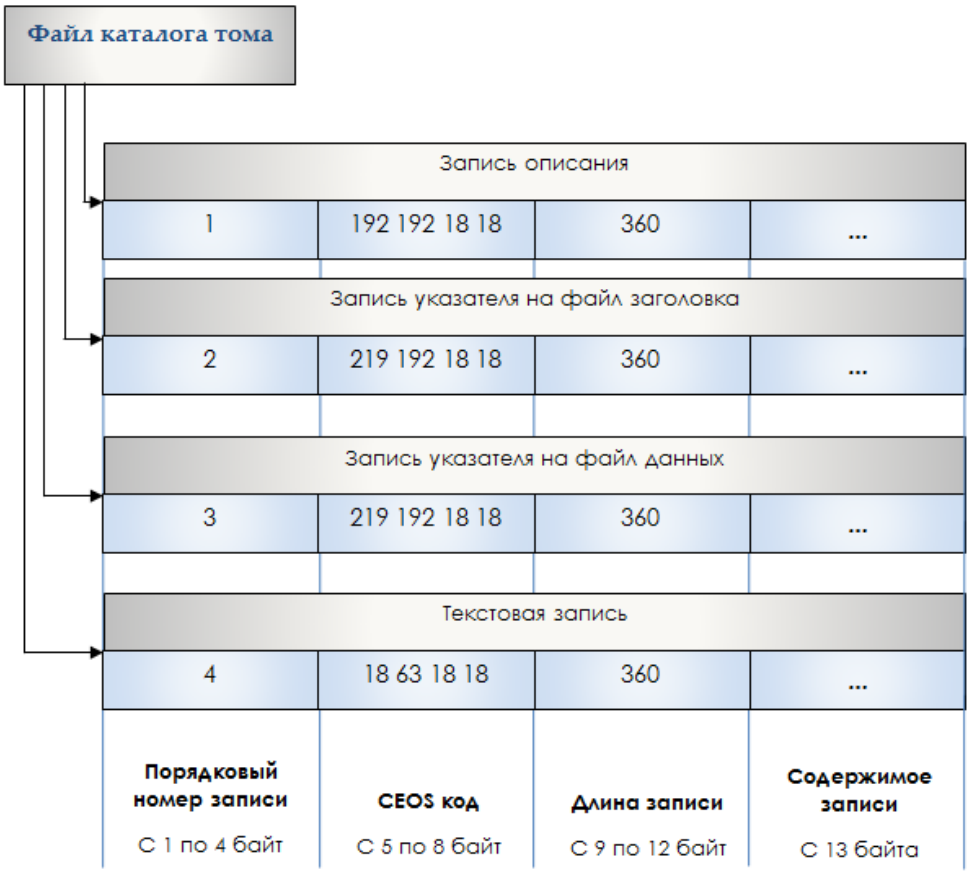


Рисунок 2 – Структура файла каталога тома

1.1.3 Структура файла заголовка

Файл заголовка хранит запись описания, запись о необработанных данных, запись с необработанными данными о положении платформы, запись данных общего типа для радиолокатора, запись данных качественного типа для радиолокатора (рисунок 3).

Запись описания (дескриптора) файла содержит идентификатор формата контрольного документа, номер и имя файла, данные о локации, включая номер, длину поля номера, протяженность, код и флаг локации, инфорация о наборе данных, включая количество наборов данных, длина записи одного набора, количество и длину записи о картографической проекции, положении платформы, пространственном положении, радиометрических данных, радиометрических коррекций, гистограммах данных, спектральных диапазонах, корректировках параметров радара, типе длины записи и максимальной длины записи. CEOS код записи - 63,192,18,18

Запись общих сведений о необработанных данных содержит информацию о:

- параметрах сцены, включая идентификатор канала, номер сцены в формате номер орбиты – номер кадра, центр геодезической широты и долготы обработанной сцены, центр обработанной сцены по направлению движения, параметры эллипсоида, количество строк и столбцов в центре сцены, длина и ширина обработанной сцены);

- основных параметрах датчиков, включая идентификатор датчика, режим работы канала, разрешающая способность, тип поляризации, номер орбиты, геодезическая широта и долгота датчика платформы в надире, направление датчика платформы в надире относительно центра сцены, углы наклона, частота, длина волны радиолокатора, идентификаторы компенсации, описание стробирующего импульса, амплитудные и фазовые коэффициенты стробирующего импульса, частота дискретизации, описание квантизатора;

- точных параметрах датчиков, таких как, спутниковое покадровое время, точное время спутника, длина шага спутникового времени;

- общих параметрах для обработки, включая идентификаторы параметров и системы обработки, особенности типа продукта, флаги блокировки помех, автофокусировки, межстрочный и пиксельный интервал, указатель диапазона сжатия.

- особенностях характерных для рассматриваемого участка, таких как нулевая доплеровская частота по азимуту и по дальности для первой, средней и последней точек.

PolotskSU

PolotskSU

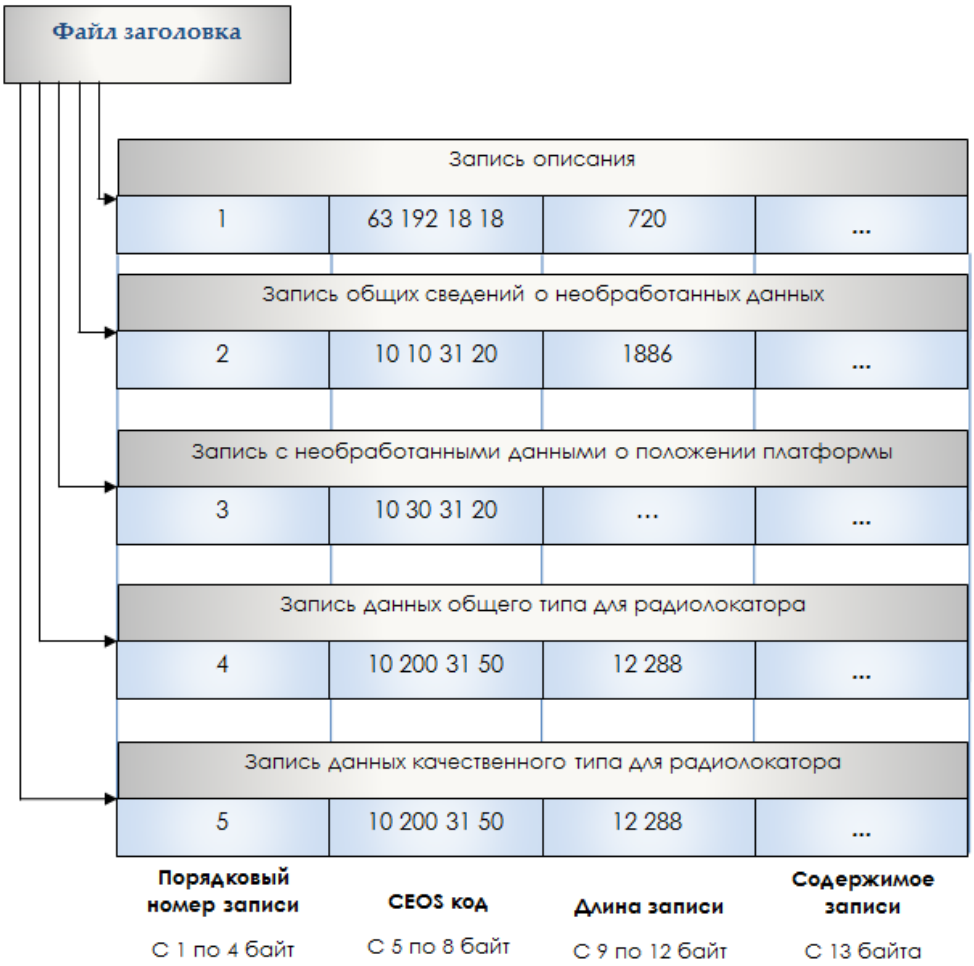


Рисунок 3 – Структура файла заголовка

Для данных первого уровня обработки хранятся: идентификатор особенностей параметров обработки, количество отсчетов по азимуту и по дальности, полоса пропускания по азимуту и по дальности, корректировочные коэффициенты по азимуту и по дальности, источник данных, номинальная разрешающая способность по азимуту и по дальности, среднее значение доплеровской частоты по- и перпендикулярно направлению движения по азимуту и по дальности.

Запись с необработанными данными о положении платформы включает информацию о позиционировании опорных точек кадра, точную дату получения каждой из точек, временной интервал между точками, справку о системе координат, ошибку позиционирования вдоль и перпендикулярно направлению движения платформы, вектора положения и скорости для каждой точки. CEOS код записи - 10,30,31,20.

Запись данных общего типа для радиолокатора содержит информацию о:

- качестве сигнала, включая дату последнего релиза программного обеспечения, сумму всех флагов, флаг изменения частоты следования импульсов, начальную длительность стробирующего импульса, отношение калибровочных коэффициентов, состояние опорного ЛЧМ сигнала, входные данные статистики, достоверность среднего значения доплеровской частоты, степень достоверности неопределенности сдвига доплеровской частоты, предполагаемые входные данные,

а также количество вышеперечисленных изменений, уровни боковых лепестков кросс-корреляционной функции ЛЧМ сигнала, расчетные значения квадратурной и синфазной составляющей входного сигнала и их оценку;

- калибровке, которая включает поправки для синфазной и квадратурной составляющих сигнала, корректирующий коэффициент, мощность шумов, задержку калибровочного импульса, количество импульсов для шумовых и опорного сигналов, мощность опорного сигнала, для первой, средней и крайней точек угол падения в середине азимута;

- дополнительных параметрах, таких как количество дублированных линий, оценка частоты появления битовых ошибок, предполагаемое выходное изображение, среднеквадратическое отклонение выходного изображения, дата и время получения первой линии необработанных данных, битовая длина выходного пикселя, коэффициенты усиления, параметры кросс-корреляционной функции, уровни боковых лепестков сигнала, вектора положения и скорости, окно пропускания фильтра, смещение времени запуска стробирующего импульса, кодирование частоты следования импульсов, качественные и статистические пороговые значения входных импульсов, количество строк необработанных данных, количество пикселей в строке. CEOS код записи - 10,200,31,50.

1.1.4 Структура файла данных

Файл данных включает запись описания файла и набор записей необработанных данных (рисунок 4).

Запись описания (дескриптора) файла содержит идентификатор формата контрольного документа, номер и имя файла, данные о записи локации, включая номер, длину поля номера, протяженность, код и флаг локации, количество записей РСА, длину каждой записи, количество каналов РСА, количество строк и пикселей в каждом комплекте данных, информацию о записанных в файл количестве физических записей в строке, в линии, количество бит на пиксель, диапазоне данных пикселя. CEOS код записи - 63,192,18,18.

Каждая запись с данными необработанного сигнала хранит описание, включающее количество строк, количество пикселей в строке, вспомогательную информацию о параметрах датчиков, счетчик пакетов, и представляет собой одну строку РГГ, т.е. отраженные сигналы для одного зондирующего импульса. Каждый элемент строки РГГ представляется двумя байтами, по одному байту на синфазную и квадратурную составляющие отраженного сигнала и записывается с 413 по 11644 байт. Количество записей необработанного сигнала равно количеству строк изображения. CEOS код записи - 50,10,31,20.

PolotskSU

PolotskSU

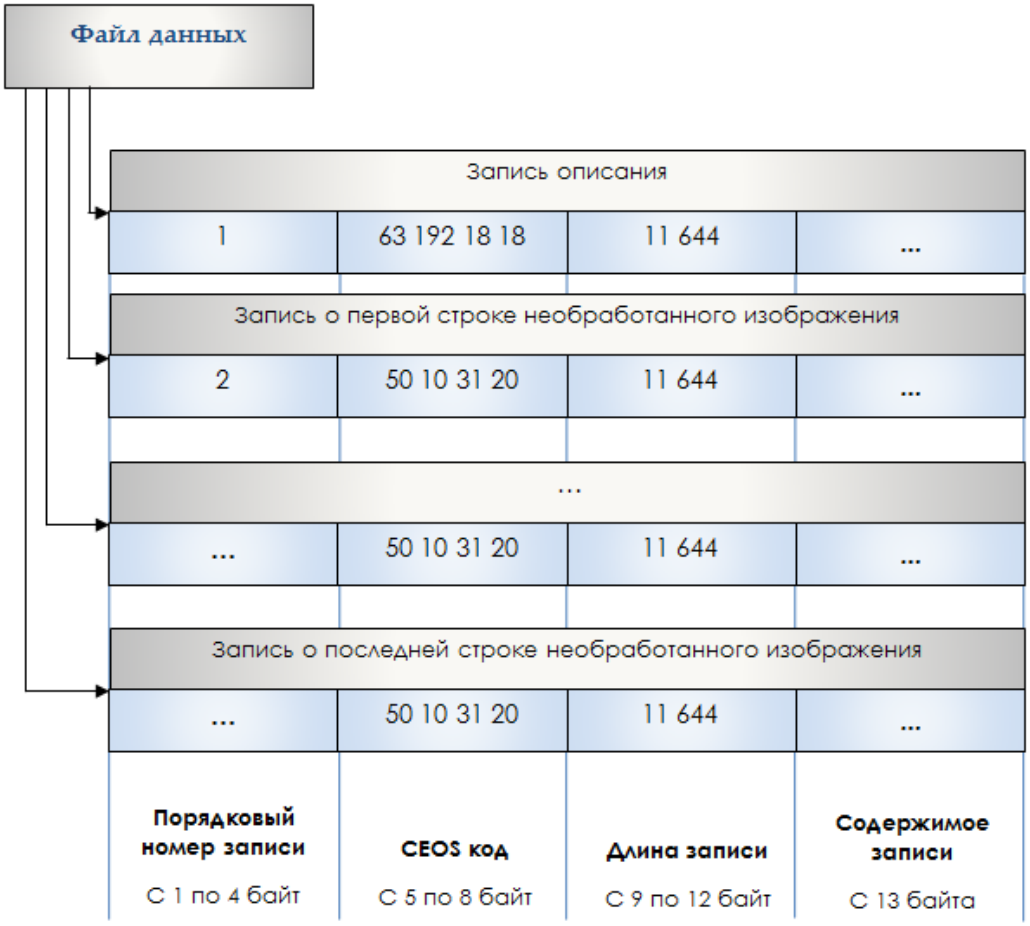


Рисунок 4 – Структура файла данных

1.1.5 Структура файла нулевого тома

Файл нулевого тома содержит запись описания файла, которая включает идентификаторы физического и логического томов, количество томов, их порядковые номера, дату, время, страну, организацию создания тома (рисунок 5). CEOS код: 192,192,63,18

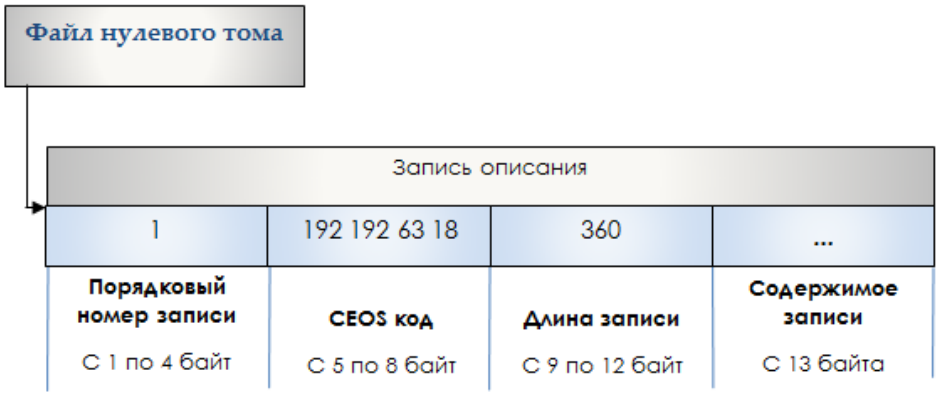


Рисунок 5 – Структура файла нулевого тома

PolotskSU

1.2 Представление радиолокационных данных с учетом особенностей структуры и формата системы TerraSAR-X

1.2.1 Общая структура пакета данных

TerraSAR-X является одним из наиболее востребованных спутников и позволяет получать радиолокационные изображения (РЛИ) с высоким пространственным разрешением, до 1 м [7]. Радиолокатор с синтезированной апертурой (РСА) данной системы выполняет съемку в X-диапазоне длин волн с частотой 9,65 ГГц и длиной волны соответственно 3 см. Базовые продукты данного спутника представляются обработанными до уровня 1B РЛИ, которые содержат следующие геометрические проекции и представления данных [7,8]: Single Look Slant Range Complex (SSC) – комплексные РЛИ с наклонной дальностью с амплитудно-фазовыми параметрами в геометрии наклонной дальности; Multilook Ground Range Detected (MGD) – РЛИ с корректировкой по WGS84 со средней высотой местности для проекции с наклонной на горизонтальную дальность; Geocoded Ellipsoid Corrected (GEC) – РЛИ с корректировкой по WGS84 со средней высотой местности; Enhanced Ellipsoid Corrected (EEC) – РЛИ с корректировкой по WGS84 с цифровой моделью рельефа. Разнообразие базовых продуктов основных радиолокационных данных спутника TerraSAR-X и различных вспомогательных данных, которые к тому же могут динамически дополняться, предопределило представление сформированного выходного продукта в виде набора файлов и каталогов, которые упакованы в отдельный архив. При этом метаданные записаны в отдельный файл с использованием языка XML в качестве их описания. Для записи радиолокационных данных спутника TerraSAR разработан и используется специализированный формат COSAR [8,9].

Выходной продукт данного спутника представляет собой архив (*.tar) со структурой каталогов и файлов, в которых отдельно хранятся РЛИ и метаданные о режиме съемки, времени и координатах нахождения летательного аппарата, информация о коррекции и геокодировании, параметры качества информации, конфигурация съемочной системы и т.д. [8].

На рисунке 6 представлена структура выходного продукта спутника TerraSAR-X [10].

Основной файл метаданных, XML-файл, содержит информацию обо всех каталогах и файлах выходного продукта и включает основные разделы:

– *generalHeader* – хранит информацию о наземной станции;

– *productComponents* – представляет информацию о файловом составе выходного продукта;

– *productInfo* – содержит информацию о параметрах режима съемки, получения, передачи и хранения радиолокационной информации;

– *productSpecific* – представляет информацию о геокодировании и режиме съемки SSC;

PolotskSU

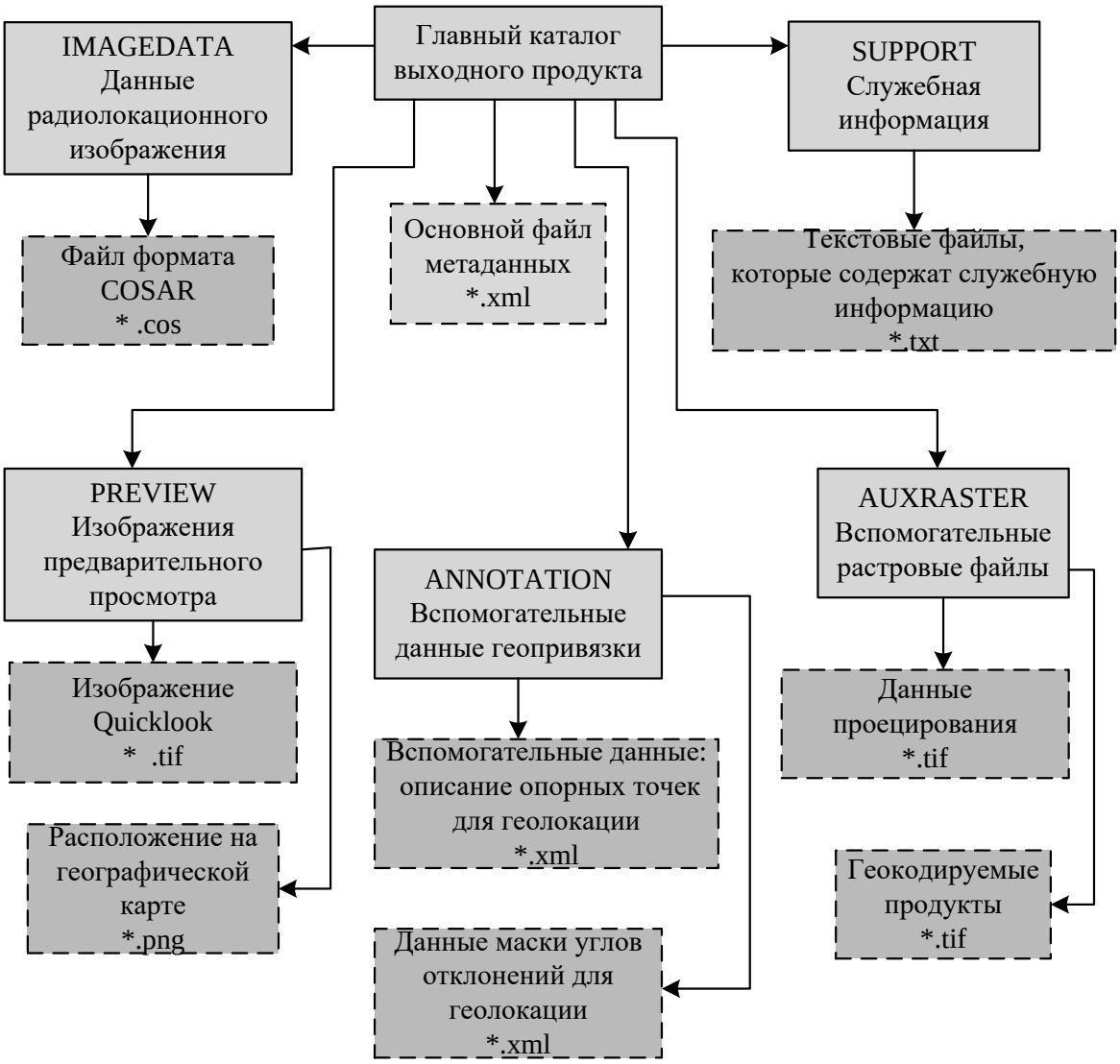


Рисунок 6 – Структура каталогов и файлов выходного продукта спутника TerraSAR-X

– *setup* – описывает конфигурацию режима съемки и обработки данных и содержит информацию об уровне обработки выходного продукта, поляризационных каналах съемки и используемом программном обеспечении;

– *processing* – включает параметры обработчика и получаемых данных во время съемки, тип применяемых геометрических координат, результаты анализа и коррекции, геометрические параметры фокусировки данных, также представляет содержит параметры оценки и вычисления доплеровского центроида и флаги, указывающие, какие этапы обработки были выполнены;

– *instrument* – описывает параметры радиолокационного сенсора (датчика) во время получения «сырых» (необработанных) данных;

– *calibration* – хранит параметры применения радиометрических и других поправок над полученными данными, которые использовались для калибровки, включая абсолютный коэффициент калибровки без масштабирования процессором, общую временную задержку, вносимую электронными приборами, калибровочные коэффициенты;

– *noise* – описывает шум и содержит идентификатор его модели, опорный уровень и время нестабильности шума, полиномы мощности шума как функции дальности в зависимости от опорных временных отсчетов азимута;

– *platform* – включает координаты антенн РСА, GPS антенны относительно спутниковой системы, основной сегмент, описывающий файл орбит через сегменты векторов состояний, привязанных к географическим координатам и пикселям радиолокационного изображения;

– *productQuality* – описывает качество изображения, данных и пределы их валидных значений.

1.2.2 Изображения предварительного просмотра

В данном каталоге располагаются изображения небольшого размера для обеспечения возможности их быстрого просмотра, а также общая карта с отображением местоположения съемки. Изображения Quicklook являются масштабированными копиями РЛИ до 2000 пикселей по высоте, размер определяется типом изображения, режимом съемки и видом выходного продукта спутника. В случае отображения нескольких поляризационных слоев изображение представляется 24-битным цветным изображением формата TIFF, а каждый слой цвета соответствует определенному каналу поляризации. Также приводится меньший точечный рисунок растрового изображения в градациях серого в формате JPEG или TIFF с размером до 1000 пикселей по высоте.

1.2.3 Особенности представления данных радиолокационного изображения в формате COSAR

Полученные от РСА спутника TerraSAR-X данные отраженного радиосигнала в комплексном виде хранятся в файле формата COSAR. В зависимости от режима съемки спутника в файле может находиться ряд пакетов, содержащий данные. Если для каждого канала поляризации система РСА использует несколько излучающих радиосигналов, то информация для каждого отраженного сигнала записывается в отдельных файл.

Сформированный для передачи пакет хранит метаданные, включая информацию о пригодности основных данных для дальнейшей обработки, и данные РЛИ в виде прямоугольной матрицы, в которой каждый столбец соответствует определенному расстоянию по дальности и содержит информацию о данных азимута. Расположение пакетов данных в файле COSAR показано на рисунке 7.

PolotskSU

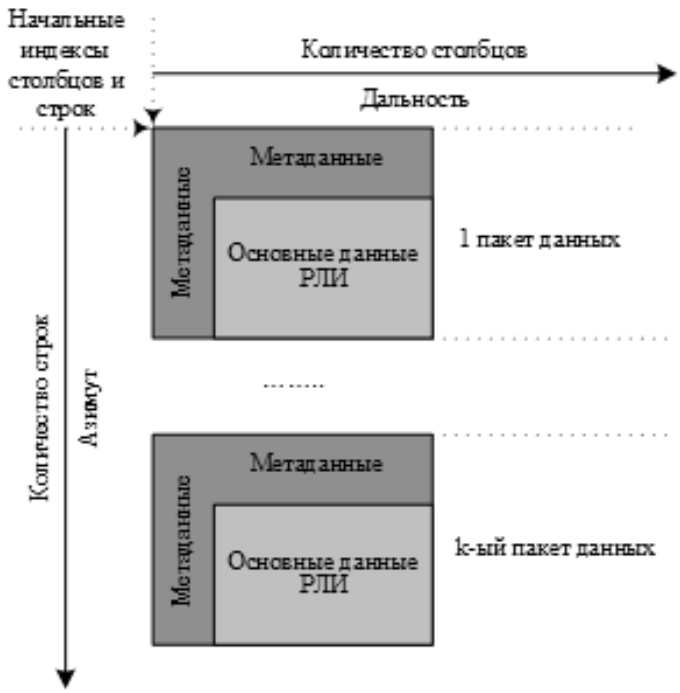


Рисунок 7 – Схема расположения пакетов данных в файле COSAR

Метаданные располагаются в первых четырех строках и в начале каждой последующей строки (см. рисунок 8). Вспомогательные данные, записанные в первых четырех строк, повторяются в каждом сформированном пакете и содержат информацию о радиопередаче и общую информацию о сформированном файле. В первую строку каждого пакета заносятся следующие параметры (см. рисунок 9):

– число байт в текущей передаче (BIB);

– индекс дальности, который отражает расположение первой выборки дальности на виртуальном растре относительно эталонного значения (RSRI);

– количество строк, хранящих значения по дальности (RS);

– количество азимутальных столбцов (AS);

– индекс номера радиопередачи (BI);

– общее количество байт в строке в направлении дальности (RTNB);

– общий размер азимутальных строк (TNL);

– частоту дискретизации первой выборки по отношению к текущей выборке дальности (1 для 330 МГц, 2 для 165 МГц, 3 для 110 МГц);

– идентификатор COSAR файла и версии сформированного файла;

– вещественную переменную с плавающей точкой, значение которой обратно скорости масштабирования, применяемой в обработке данных;

– неиспользованные 32-битные числа в каждой строке пакета зарезервированы для вспомогательных данных, которые могут содержать дополнительные сведения о режимах формирования зависимой информации, полезной для интерферометрической обработки сложных данных.

PolotskSU

Основные данные в файле COSAR представляются 32-битными числами в комплексном виде: 16 бит для мнимой части и 16 бит для действительной части. Вспомогательные данные хранятся в виде 32-битного целого числа. Порядок следования байт в файле обратный, т.е. старший байт представляется первым. Ячейка с именем идентификатора COSAR представляет собой 32-битное целое с постоянным значением в шестнадцатеричной системе счисления.

Отличительной особенностью COSAR формата является хранение данных РЛИ в перекошенной геометрии, которая представляется в искаженном виде или исправленном (нормируемом). Выбор геометрии для хранения данных определяет размер формируемого файла COSAR и зависит от полученной сцены радиолокационного снимка, т.е. положения спутника относительно сцены. Информация о перекосе РЛИ представляется метаданными, которые записываются в файл COSAR совместно с основными данными РЛИ.

Общий вид данных в столбцах азимутной выборки представлен на рисунке 10. Данные делятся на три категории: метаданные, верные и искаженные данные. Вспомогательные данные азимутальной выборки представляются по три 32-битных числа в каждом столбце азимутальной выборки, описывающие следующие параметры:

ASRI – Азимутальной параметр выборки. Представляет расположение первого образца фактического столбца азимута относительно нулевого доплеровского расположения ссылочной выборки в промежуточном растре. Этот индекс не только определяет местоположение отдельных пакетов, но и также позволяет хранить данные перекошенного изображения;

ASFV – номер ячейки первой верной хранящийся азимутальной выборки в столбце. Индекс азимута начинается с 1;

ASLV – последняя верная ячейка азимутальной выборки в столбце.

PolotskSU

PolotskSU

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	Дальность
1	BIB	RSRI	RS	AS	BI	RTNB	TNL	Идентифи-катор COSAR	Версия	RSRI	SPECAN1	SPECAN2	Зарезерви-ровано	Зарезерви-ровано	....
2	Зарезерви-ровано	Зарезерви-ровано	ASRI	ASRI	ASRI	ASRI	ASRI	ASRI	ASRI	ASRI	ASRI	ASRI	ASRI	ASRI	
3	Зарезерви-ровано	Зарезерви-ровано	ASFV	ASFV	ASFV	ASFV	ASFV	ASFV	ASFV	ASFV	ASFV	ASFV	ASFV	ASFV	
4	Зарезерви-ровано	Зарезерви-ровано	ASLV	ASLV	ASLV	ASLV	ASLV	ASLV	ASLV	ASLV	ASLV	ASLV	ASLV	ASLV	
5	RSFV	RSLV	РЛИ A1, R1	РЛИ A1, R2	РЛИ A1, R3	РЛИ A1, R4	РЛИ A1, R5	РЛИ A1, R6	РЛИ A1, R7	РЛИ A1, R8	РЛИ A1, R9	РЛИ A1, R10	РЛИ A1, R9	РЛИ A1, R9	
6	RSFV	RSLV	РЛИ A2, R1	РЛИ A2, R2	РЛИ A2, R3	РЛИ A2, R4	РЛИ A2, R5	РЛИ A2, R6	РЛИ A2, R7	РЛИ A2, R8	РЛИ A2, R9	РЛИ A2, R10	РЛИ A2, R11	РЛИ A2, R12	
7	RSFV	RSLV	РЛИ A3, R1	РЛИ A3, R2	РЛИ A3, R3	РЛИ A3, R4	РЛИ A3, R5	РЛИ A3, R6	РЛИ A3, R7	РЛИ A3, R8	РЛИ A3, R9	РЛИ A3, R10	РЛИ A3, R11	РЛИ A3, R12	
8	RSFV	RSLV	РЛИ A4, R1	РЛИ A4, R2	РЛИ A4, R3	РЛИ A4, R4	РЛИ A4, R5	РЛИ A4, R6	РЛИ A4, R7	РЛИ A4, R8	РЛИ A4, R9	РЛИ A4, R10	РЛИ A4, R11	РЛИ A4, R12	
....															
Азимут															

Рисунок 8 – Структура представления данных в файле COSAR

	1	*2*	*3*	*4*	*5*	*6*	*7*	*8*	*9*	*10*	*11*	*12*	*13*	*14*	*15*
1	2095982080	0	18878	27750	1	75520	27754	1129529682	1	2	0	0	2139062143	2139062143	2139062143
	BIB	RSRI	RS	AS	BI	RTNB	TNL	Идентификатор COSAR	Версия	RSRI	SPECAN1	SPECAN2	Зарезерви-ровано	Зарезерви-ровано	Зарезерви-ровано

Рисунок 9 – Расположение метаданных в первой строке файла COSAR

PolotskSU

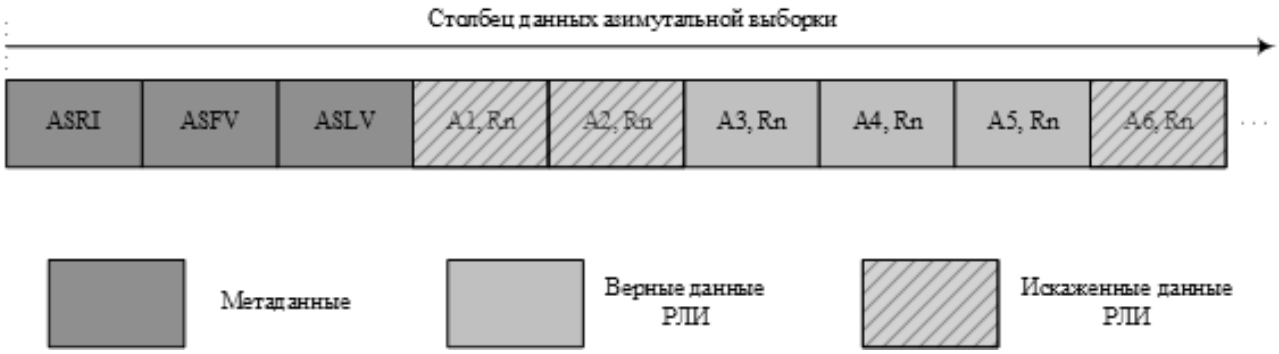


Рисунок 10 – Описание данных азимутной выборки

Таким образом, устранение перекоса изображения и расположения начала колонки верных данных выборок азимута начинается с ячейки под номером ASRI+ASFV-1. В случае если перекос изображения имеет место, то параметр ASRI является постоянным для всех столбцов по дальности всего пакета.

Величина задержки первой выборки данных дальности является постоянной в пакете данных и указана в первой строке метаданных в начале пакета.

Каждая строка данных выборки дальности содержит два параметра метаданных и данные РЛИ соответственно, общий вид строки данных выборки дальности представлен на рисунке 11, где:

RSFV – номер ячейки первой верной выборки дальности в строке; нумерация индекса дальности начинается с 1.

RSLV – последняя верная ячейка выборки дальности в строке.

Число азимутных выборок в одном столбце может изменяться от передачи к передаче, а число выборок дальности в одной строке всегда одинаково для каждого пакета в сформированном файле.

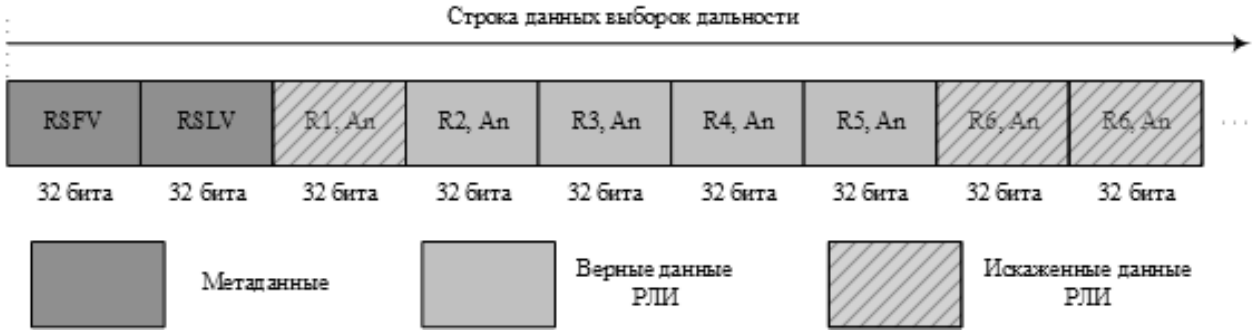


Рисунок 11 – Описание данных выборки по дальности

1.2.4 Вспомогательные данные геопривязки

В формате COSAR также предусмотрено хранение вспомогательных данных геопривязки РЛИ к местности. При этом для каждой опорной точки определяются следующие параметры: привязка к опорному времени азимута, привязка к опорному

времени наклонной дальности, широта, долгота, номер строки и номер столбца полученного массива растра COSAR изображения, углы падения и элевации.

В разделе вспомогательные растровые файлы. размещаются данные проецирования и данные геокодирования. Процедура геокодирования выполняет развертывание полученного РЛИ в соответствии с направлением севера [8].

1.2.5 Методика представления радиолокационных данных в формате COSAR

С учетом рассмотренной структуры представления радиолокационных данных спутником TerraSAR-X синтезирована и реализована методика представления данных в формат COSAR с использованием программного обеспечения MatLab, который включает следующие основные шаги [9,10]:

– импорт сфокусированного РЛИ с геометрической коррекцией;

– формирование основных и вспомогательных данных на основе импортированного РЛИ;

– вывод в файл первой строки основных и вспомогательных данных;

– перестановка пикселей для удобства конкатенации двух 16-битных чисел в 32-битное число;

– формирование вспомогательных данных о перекосе изображения;

– преобразование растра РЛИ в одномерный массив;

– конкатенация 16-битных чисел в 32-битное число;

– вывод данных.

В пакете MatLab реализован алгоритм представления данных в формат COSAR и используются следующие основные функции:

– RLI_open_complex – чтение комплексных данных радиолокационного изображения;

– asdata_form – формирование верных и искаженных данных азимутальной выборки;

– header_write – заполнение заголовка первой строки (листинг 1);

– rsdata_form – формирование верных и искаженных данных выборок по дальности;

– rek_rli – реструктуризация данных РЛИ (листинг 2);

– COSAR_data – формирование данных COSAR файла.

На рисунке 12 приведен пример радиолокационного изображения ERS-2 [11], сфокусированного по рассмотренной в [12] методике, которое преобразовано по разработанному алгоритму в формат COSAR с использованием MatLab.

PolotskSU

PolotskSU

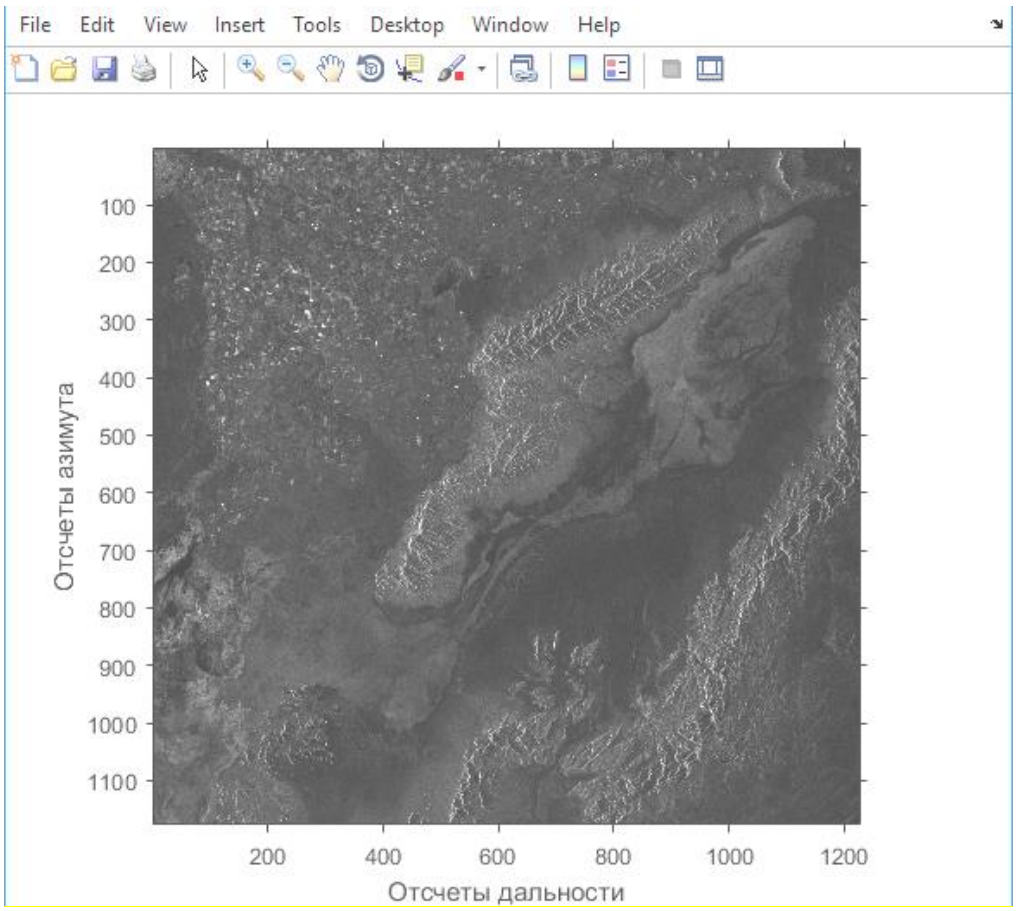


Рисунок 12 – Сфокусированное РЛИ спутника ERS-2, преобразованное в формат COSAR

1.3 Представление радиолокационных данных группой спутников COSMO-SkyMed

1.3.1 Уровни формируемых данных

Выходными данными системы COSMO-SkyMed являются радиолокационные изображения, представленные в формате HDF5, и соответствующие одному из следующих уровней обработки [13]:

Уровень 0. Этот уровень содержит исходные данные после расшифровки и перед распаковкой, вместе со вспомогательной информацией, включающей сведения калибровки, необходимые для получения изображений более высокого уровня. Также эти сведения содержат время отражения сканирующего сигнала, полученное после декодирования и распаковки (т. е. преобразование из закодированных данных алгоритмом блочного адаптивного преобразования (БАК) в 8-битные равномерно квантованные значения). Данные уровня 0 содержат всю вспомогательную информацию такую как траектория спутника в зависимости от координат и вектора скорости, геометрическую модель датчика, состояние полезной нагрузки, калибровочные параметры.

Уровень 1A. Комплексные данные без некогерентного накопления (SLC). Данные этого уровня обработки представляют собой радиолокационный снимок в

комплексном виде, т.е. изображение имеет два слоя: первый – амплитудная информация сигнала (по сути, изображение поверхности), второй – фазовая информация (по фазе определяется удаленность от радиолокатора до конкретной точки поверхности). Изображение этого уровня обработки представляется в системе координат снимка. Оно довольно сильно деформировано ввиду специфической геометрии съемки. Такие изображения подходят для выполнения любого вида обработки данных.

Уровень 1B. Для данного уровня обработки не поставляется фазовый слой, то есть имеется только изображение поверхности в радиодиапазоне. Изображение также представлено в системе координат снимка. Переход от уровня обработки SLC к данному типу осуществляется с помощью усреднения значений по азимуту и дальности для того, чтобы приблизительно привести размер пикселя к квадратному. Размер пикселя устанавливается в зависимости от типа данных. Изображение приводится к проекции на эллипсоиде и средней постоянной высоте рельефа. Результирующее изображение не имеет геопривязки и коррекции влияния рельефа.

Уровень 1C/1D. Геометрически скорректированные данные GEC (изображения уровня 1C) и скорректированные на местности данные GTC (изображения уровня 1D), полученные проецированием данных уровня 1A на сетке в выбранной картографической системе координат. В случае с уровнем 1C для аппроксимации реальной поверхности Земли используется поверхность эллипсоида Земли, в то время как для уровня 1D используется цифровая модель рельефа (DEM).

1.3.2 Особенности структуры и формата представления данных

Формат HDF5 упрощает структуру файла и включает только два главных типа объекта: группы, являющиеся контейнерными структурами, которые могут содержать наборы данных и другие группы; наборы данных, которые являются многомерными множествами гомогенного типа. Такая структура является иерархической. Метаданные хранятся в определенной пользователями форме: названия признаков, приложенных к группам и наборам данных. Более сложные изображения представлены в виде таблиц, с использованием наборов данных, групп и признаков. Каждый уровень иерархии формата HDF5 предназначен для хранения определенных параметров результатов, получаемых со спутника [13,14].

Структура выходного файла данных со спутников COSMO-SkyMed, представленная на рисунке 13, включает в себя 4 группы и 9 наборов данных.

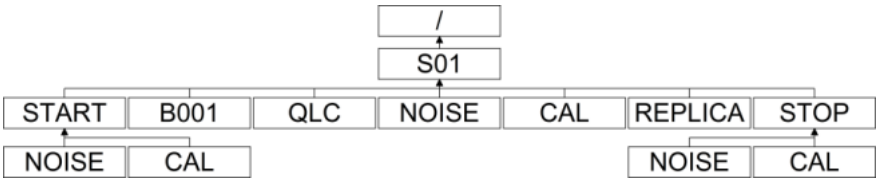


Рисунок 13 - Структура файла данных уровня 0 в формате HDF5

PolotskSU

PolotskSU

1.3.2.1 Описание групп

/ – корневая группа для всех режимов работы и уровней обработки 0/1A/1B/1C/1D. Для каждого режима работы и уровня обработки характерны следующие параметры:

– независимые атрибуты, применимые ко всем уровням обработки;

– одна или несколько групп под названием S<mm>;

– набор данных с именем MBI (Multi Beam Image) или он может отсутствовать;

– набор данных с именем QLK (Quick Look) или может отсутствовать;

– набор данных с именем GIM (Geocoded Incidence Mask) или может отсутствовать.

S<mm> – группа для всех режимов работы и уровней обработки 0/1A/1B/1C/1D. Эта группа содержит следующие данные:

– атрибуты, зависящие от конкретно используемого режима сканирования;

– не менее одного набора данных с именем B<nnn>;

– набор данных с именем SBI (Single Beam Image), в режимах ScanSAR или может отсутствовать;

– набор данных с именем QLK (Quick Look) или может отсутствовать;

– набор данных CAL, содержит массив калибровки импульсов медленного времени, который описан в атрибуте Calibration Pulse Azimuth Times или может отсутствовать;

– набор данных REPLICA содержит модель зондирующего сигнала, восстановленную из калибровочных данных, описанную атрибутами: Replica Azimuth Times – модель медленного времени в секунах, Replica Geometric Resolution – массив, содержащий геометрическое разрешение каждой восстановленной модели, Replica ISLR – массив, содержащий ISLR каждой восстановленной модели, Replica SSLR – массив, содержащий левый и правый SSLR каждой восстановленной модели, Replica Shape -10dB/-3dB – отношение апертуры главного лепестка восстановленной модели на уровнях -10дБ и -3dB, Replica Shape -6dB/-3dB – отношение апертуры главного лепестка восстановленной модели на уровнях -6дБ и -3dB, или может отсутствовать.

– набор данных NOISE содержит массив данных шума медленного времени, описанный в атрибуте Noise Data Azimuth Times или может отсутствовать.

В режимах HIMAGE и SPOTLIGHT значение <mm> равно 01.

Для результатов в режиме ScanSAR <mm> $\in$ {01, 02, 03, 04, 05, 06}. Нумерация осуществляется в порядке возрастания от ближайшей до самой дальней полосы. Кроме того группа S01 всегда будет содержать первый полученный отклик.

B<nnn> – группа для всех режимов работы и уровней обработки 1A/1B/1C/1D, включает в себя атрибуты, зависящие от времени последовательного блока данных, использующиеся для полученных необработанных данных;

START – группа для всех режимов работы и уровня обработки 0, содержит наборы данных калибровки (CAL) и измерения шума (NOISE) во время инициализации сканирующей последовательности.

STOP – группа для всех режимов работы и уровня обработки 0, содержит наборы данных калибровки (CAL) и измерения шума (NOISE) во время завершения сканирующей последовательности.

1.3.2.2 Описание наборов данных

B<nnn> – набор данных для всех режимов работы и уровня обработки 0, включает в себя:

– атрибуты, зависящие от времени последовательного блока данных, используемого для полученных необработанных данных, такие как время начала и завершения сканирования, коэффициент усиления приёмника;

– массив данных с растровым слоем.

В режимах HIMAGE и SPOTLIGHT значение <nnn> = равно 1.

Для результатов в режиме ScanSAR <nnn> ∈ [001, 999] при этом нумерация осуществляется в порядке возрастания от первого полученного отклика на сканирующую последовательность до последнего. Такое же количество откликов всегда будет содержаться в каждой группе S <mm> полученного результата.

SBI – набор данных для режимов работы HIMAGE и SPOTLIGHT и уровней обработки 1A/1B/1C/1D, а также для режима ScanSAR и уровня 1A, включает следующее:

– атрибуты, зависящие от используемой полосы обзора в доступной области для конечного результата;

– один растровый массив результирующих данных.

MBI – набор данных для режима работы ScanSAR и уровней обработки 1A/1B/1C/1D, содержит следующие данные:

– атрибуты, зависящие от представления всей поверхности Земли;

– один растровый массив данных, содержащий разделение по дальности/азимуту, применимый для дальнейшего использования.

QLC – набор данных, содержащий информацию для быстрого просмотра итогового результата, представляющий растровое изображение и описывающие атрибуты его: Quick Look Column Spacing – расстояние между столбцами слоя быстрого просмотра, Quick Look Columns Order – порядок следования столбцов для слоя быстрого просмотра, Quick Look Line Spacing – расстояние между линиями слоя быстрого просмотра, Quick Look Lines Order – порядок следования линий для

PolotskSU

слоя быстрого просмотра, Quick Look Projection ID – описание проекции для слоя быстрого просмотра.

GIM – набор данных, содержащий растровый слой, представляющий маску углов падения для каждого пикселя. Применяется для уровня обработки 1D.

NOISE – набор данных для всех режимов работы и уровня обработки 0, содержащий информацию о шуме от переданных из космоса RAW результатов. Этот набор данных состоит из следующих частей:

– набор данных START/NOISE (соответственно STOP/NOISE), содержит массив данных шума медленного времени, описанный в атрибуте Noise Data Azimuth Times при инициализации (соответственно завершении) сканирующей последовательности;

– набор данных /S<nn>/NOISE, содержит массив данных шума медленного времени, описанный в атрибуте Noise Data Azimuth Times во время всего сканирования.

CAL – набор данных для всех режимов работы и уровня обработки 0, содержащий калибровочную информацию от переданных из космоса RAW результатов. Можно выделить 3 разновидности этого набора данных:

– набор данных /START/CAL, включает в себя все калибровочные измерения (Tx1a, Tx1b и RX выполненных в каждом ряду антенны и дополнительно короткого импульса) произведённые в начале сканирования;

– набор данных /STOP/CAL, включает в себя все калибровочные измерения (Tx1a, Tx1b и RX выполненных в каждом ряду излучающих элементов антенны и дополнительно короткого импульса) произведённые в конце сканирования;

– набор данных /S<nn>/CAL, включает в себя массив калибровки импульсов медленного времени, который описан в атрибуте Calibration Pulse Azimuth Times.

REPLICA – набор данных для всех режимов работы и уровня обработки 0, описывает модель ЛЧМ-сигнала восстановленного из калибровочной информации, включенной в RAW данные. Описание модели содержит следующие атрибуты: Replica Azimuth Times, Replica Geometric Resolution, Replica ISLR (Integrated Sidelobe Ratio – интегрированный коэффициент боковых лепестков), Replica PSLR (Peak Sidelobe Ratio – пиковый коэффициент боковых лепестков), Replica SSLR (Spurious Sidelobe Ratio – побочный коэффициент боковых лепестков), Replica Shape -10dB/-3dB, Replica Shape -6dB/-3dB.

PolotskSU

PolotskSU

2 Разработка алгоритмов сжатия и пакетирования радиолокационных данных

2.1 Модифицированный алгоритм сжатия на основе энтропийно-ограниченного блочного адаптивного квантования

Энтропийно-ограниченное блочное адаптивное квантование (Entropy Constrained Block Adaptive Quantization, ECBAQ) относится к блочным алгоритмам квантования, поэтому на первом шаге сжатия выполняется разбиение необработанных данных на блоки, минимальный размер которых выбирается таким образом, чтобы обеспечить нормальное распределение данных в блоке, а максимальный размер ограничен мощностью сигнала, которая должна оставаться постоянной для каждого блока [15,16]. Для радиолокационных данных ДЗЗ наиболее часто применяется блок размером 128 отсчетов, который гарантирует выполнение заданных условий. Алгоритм на основе ECBAQ использует оптимальный квантователь, минимизирующий значения среднего квадрата ошибки (СКО) и выходной энтропии путем изменения параметров квантования, таких как количество уровней на выходе квантователя и шаг квантования [17-19].

Модифицированный алгоритм требует выполнения следующих основных шагов для одного блока входных данных [20]:

1) Расчет количества уровней квантователя C :

$$C=2^R,$$

где R - заданная разрядность;

2) Расчет размера шага S_c:

$$S_c = 2A_{max}/C,$$

где A_{max} - максимальное значение во входном массиве данных.

Уровни радиолокационных данных могут принимать числовые значения из интервала от -128 до 127, поэтому при расчете принимается $A_{max}=127$;

3) Равномерное квантование значений в блоке на основе рассчитанных C и S_c;

4) Определение СКО согласно формуле [21]:

$$\sigma^2 = \frac{\sum_1^n (x-\tilde{x})^2}{n};$$

где x - исходное значение, $\tilde{x}$ - квантованное значение, n - количество элементов в блоке.

5) Расчет энтропии выполняется с учетом того, что входные радиолокационные данные подчиняются нормальному закону распределения вероятности [22,23]:

$$H = \frac{1}{2} \cdot \ln(2 \cdot \pi \cdot \sigma^2 \cdot e),$$

где π и e – константы;

6) Если значение энтропии H больше заданного значения R, причем изначально $R = R_{out}$, то шаг квантования уменьшается на единицу и происходит возврат к шагу 3;

7) Если значение СКО больше значения ε, которое задается изначально, то количество уровней квантования увеличивается на единицу и происходит возврат к шагу 2;

8) Если максимальный индекс квантователя превышает значение $2^{Rout} - 1$, то пороговые значения повышаются и происходит возврат к шагу 1;

9) Запись индексов уровней квантования для блока и $A_{\max}$ для выбранных C и S_c;

10) кодирование полученных данных алгоритмом Хаффмана [24].

Восстановление после сжатия происходит по следующему алгоритму:

– декодирование Хаффмана;

– разделение на блоки;

– извлечение значений $A_{\max}$;

– восстановление значений C и S_c исходя из переданного значения A_{max};

– восстановление кодовой книги исходя из рассчитанных значений;

– соотнесение индекса уровня квантования с индексом кодовой книги для получения значения, соответствующего данному индексу.

К основным характеристикам квантователя относится коэффициент сжатия данных (C_Q), который вычисляется как отношение количества бит на отсчет для входных (R_{in}) и выходных данных (R_{out}).

2.2 Алгоритм пакетирования данных

В соответствии с требованиями CCSDS [25] и SPP [26] для передачи пакет РСА космического аппарата должен включать:

– основной заголовок пакета с 0 по 5 октет содержит номер версии пакета, тип пакета, флаг дополнительного заголовка, идентификатор обработки, категорию данных пакета, значение флага для группировки пакетов, счетчик пакетов, длину данных пакета;

– поле вспомогательных данных РСА с 6 по 61 октет, включающее параметры: грубое время, точное время, маркер синхронизации, идентификатор принимаемых данных, номер кода управления событием, идентификатор канала приемника, индекс наименований вспомогательных данных для сервиса коммутации, вспомогательные данные для сервиса коммутации, счетчик космических пакетов, счетчик интервалов следования импульсов, флаг ошибки, режим блочного адаптивного квантования, длина блока адаптивного квантования, тип фильтра

PolotskSU

нижних частот, значение усиления приемника, скорость линейного изменения аналогового сигнала передатчика, начальную частоту переданного импульса, интервал повторения импульсов, время начала выборки, длительность выборки, флаг режима работы или калибровки РСА, поляризация, температурная компенсация, высотный адрес луча.

– поле данных с 62 по 67 октет содержит режим калибровки, номер импульса передатчика, тип сигнала, обмен, номер ряда (или строки), количество квадрантов, а с 68-65549 октет записываются данные отсчетов отраженного сигнала.

Таким образом, структуру формируемого пакета можно представить, как показано в таблице 1 [27].

Таблица 1- Структура пакета, передаваемого с космического аппарата

<table>
<tr><th>№ октета</th><th>Бит 0</th><th>Бит 1</th><th>Бит 2</th><th>Бит 3</th><th>Бит 4</th><th>Бит 5</th><th>Бит 6</th><th>Бит 7</th></tr>
<tr><td>0</td><td colspan="3">Номер версии пакета</td><td>Тип пакета</td><td>Флаг дополнит. заголовка</td><td colspan="3">Идентификатор обработки→</td></tr>
<tr><td>1</td><td colspan="4">←Идентификатор обработки</td><td colspan="4">Категория пакета</td></tr>
<tr><td>2,3</td><td colspan="2">Последовательность флагов</td><td colspan="6">Подсчет последовательности пакетов</td></tr>
<tr><td>4,5</td><td colspan="8">Длина пакета</td></tr>
<tr><td>6-9</td><td colspan="8">Грубое время</td></tr>
<tr><td>10-11</td><td colspan="8">Точное время</td></tr>
<tr><td>12-15</td><td colspan="8">Маркер синхронизации</td></tr>
<tr><td>16-19</td><td colspan="8">Идентификатор принимаемых данных</td></tr>
<tr><td>20</td><td colspan="8">Номер ЕСС (кода управления событием)</td></tr>
<tr><td>21</td><td colspan="2">n/a</td><td colspan="3">Тестовый режим</td><td colspan="3">Идентификатор канала приемника</td></tr>
<tr><td>22-25</td><td colspan="8">Идентификатор канала приемника</td></tr>
<tr><td>26</td><td colspan="8">Индекс слов вспомогательных данных для сервиса коммутации</td></tr>
<tr><td>27-28</td><td colspan="8">Слова вспомогательных данных для сервиса коммутации</td></tr>
<tr><td>29-32</td><td colspan="8">Счетчик космических пакетов</td></tr>
<tr><td>33-26</td><td colspan="8">Счетчик интервалов следования импульсов</td></tr>
<tr><td>37</td><td colspan="2">Флаг ошибки</td><td colspan="2">n/a</td><td colspan="4">Режим БАК</td></tr>
<tr><td>38</td><td colspan="8">Длина блока БАК</td></tr>
<tr><td>39</td><td colspan="8">n/a</td></tr>
<tr><td>40</td><td colspan="8">Прореживание диапазона</td></tr>
<tr><td>41</td><td colspan="8">Усиление приемника</td></tr>
<tr><td>42-43</td><td colspan="8">Скорость линейного изменения аналогового сигнала передатчика</td></tr>
<tr><td>44-45</td><td colspan="8">Начальная частота переданного импульса</td></tr>
<tr><td>46-48</td><td colspan="8">Длина переданного импульса</td></tr>
<tr><td>49</td><td colspan="4">n/a</td><td colspan="4">Ранг</td></tr>
<tr><td>50-52</td><td colspan="8">Интервал повторения импульсов</td></tr>
<tr><td>53-55</td><td colspan="8">Время начала выборки</td></tr>
<tr><td>56-58</td><td colspan="8">Длительность выборки</td></tr>
</table>

PolotskSU

PolotskSU

Продолжение таблицы 1

№ октета	Бит 0	Бит 1	Бит 2	Бит 3	Бит 4	Бит 5	Бит 6	Бит 7
Если SSBFLAG = 0, то поле данных SSB антенной подсистемы РСА имеет структуру:								
	Бит 0	Бит 1	Бит 2	Бит 3	Бит 4	Бит 5	Бит 6	Бит 7
59	SSBFLAG= 0	Поляризация			Температурная компенсация		n/a	
60	Высотный адрес луча				n/a		< ----------	
61	----------Азимутальный адрес луча ---------- >							
Если SSBFLAG = 0, то Поле данных SSB антенной подсистемы РСА калибровки имеет структуру:								
59	SSBFLAG= 1	Поляризация			Температурная компенсация		n/a	
60	Тестирование антенной подсистемы РСА	Тип калибровки			n/a		< ----------	
61	----------Калибровка адреса луча ---------- >							
62	Режим калибровки		n/a	Номер импульса передатчика				
63	Тип сигнала				n/a			Обмен
64	Номер строки							
65-66	Количество строк							
67	n/a							
68-65549	Данные о выборках радиолокационного изображения							

Алгоритм формирования пакета включает следующие шаги [28]:

1) Упорядочивание выборок в соответствии с протоколом SPP.

Порядок записи в SPP следующий: синфазная часть четной выборки (левая), синфазная часть нечетной выборки (правая), квадратурная часть четной выборки (левая), квадратурная часть нечетной выборки (правая). Упорядочивание будет производиться в цикле, пока не достигнут конец последовательности.

Если позиция элемента по модулю 32 равна числам от 1 до 8, то элементы, занимающие эти позиции присваиваются sposl1, для чисел от 9 до 16 – sposl2, для чисел 17-24 элементы будут присвоены последовательности sposl3, а для чисел 24-31 и 0 в sposl4. Далее путем объединения в одну последовательность, sposl, в следующем порядке: sposl1, sposl2, sposl3, sposl4, получается массив выборок, упорядоченный в соответствии с SPP.

2) Формирование из полученной последовательности матрицы размером [65 × (5616×8)]

3) Объединение данных выборок радиолокационного изображения и вспомогательных данных будет производиться в цикле, количество повторений которого будет равняться количеству строк считанной радиоголограммы. Т.к. алгоритм моделируется для одного комплекта измерений (65 строк), цикл повторяется 65 раз.

PolotskSU

3 Моделирование алгоритмов обработки сигнала и базовой схемы построения радиолокационного изображения

3.1 Моделирование пакетирования данных

Формирование пакета происходит в цикле, количество повторений соответствует 65 строкам радиолокационного изображения (одному комплекту измерений). Выходным продуктом модуля является 65 пакетов объеденных вспомогательных данных (метаданных) и данных выборок радиолокационного изображения.

Моделирование формирования пакета выполнено с использованием пакета Matlab. Программная реализация алгоритма упорядочивания синфазных и квадратурных выборок согласно протоколу SPP показана в Листинге 1.

Объединение данных отсчетом отраженного сигнала и вспомогательных данных выполняется в цикле, количество повторений которого определяется количеством строк радиоголограммы. Базовый шаг алгоритма пакетирования данных моделируется для одного комплекта измерений, поэтому цикл будет повторяться 65 раз.

Листинг 1- Программная реализация алгоритма упорядочивания синфазных и квадратурных выборок согласно протоколу SPP

```
for i=1:n
if mod(i,4*8)==1 | mod(i,4*8)==2 | mod(i,4*8)==3 | mod(i,4*8)==4 | …
mod(i,4*8)==5 | mod(i,4*8)==6 | mod(i,4*8)==7 | mod(i,4*8)==8
sposl1(a)=posl(i); % выделение квадратурных четных
a=a+1;
elseif mod(i,4*8)==9 | mod(i,4*8)==10 | mod(i,4*8)==11 | …
mod(i,4*8)==12 | mod(i,4*8)==13 | mod(i,4*8)==14 | mod(i,4*8)==15…
 | mod(i,4*8)==16
sposl2(b)=posl(i);% выделение квадратурных не четных
 b=b+1;
elseif mod(i,4*8)==17 | mod(i,4*8)==18 | mod(i,4*8)==19 |…
 mod(i,4*8)==20 | mod(i,4*8)==21 | mod(i,4*8)==22 | mod(i,4*8)==23 | …
mod(i,4*8)==24
  sposl3(c)=posl(i);% выделение синфазных четных
    c=c+1;
elseif mod(i,4*8)==25 | mod(i,4*8)==26 | mod(i,4*8)==27 | …
mod(i,4*8)==28 | mod(i,4*8)==29 | mod(i,4*8)==30 | mod(i,4*8)==31 | …
mod(i,4*8)==0
       sposl4(d)=posl(i); % выделение синфазных не четных
       d=d+1;
end
end
sposl=[sposl1,sposl2,sposl3,sposl4];%конкатенирование
 posledov=reshape(sposl,5616*8,65);% формирование матрицы
```

Значения координат и скоростей носителя представляются в виде 32 битного массива, с последующим разделением на 2 массива, каждый из которых будет далее являться элементом матрицы вспомогательных данных. Формирование заголовков и вспомогательных переменных в соответствии со структурой пакета представлено на Листинге 2.

PolotskSU

Листинг 2 – Пример формирования заголовков и вспомогательных переменных в соответствии со структурой пакета

```
numverpak =[0 0 0];          %номер версии пакета
typ=[0];                     %тип пакета
dpzag=[1];%флаг дополнительного заголовка
identobr=de2bi(65,7)         %идентификатор обработки
categ= de2bi(12,4, 'left-msb') %категория пакета
posledfl= [1 1];
chetsledpak= de2bi(count,14);
dlynpak= de2bi(5616*8+(62*8),16);          %длинна пакета
time= Data_time; %точное время
mrsyn=[0 0 1 1 0 1 0 1 0 0 1 0 1 1 1 0 1 1 1 1 1 0 0 0 0 1 0 1 0 0 1 1]; %маркер синхронизации 352EF853
в HEX формате
identprindan= de2bi(11527,32);%идентификатор данных
nomerecc= de2bi(1,8);        %номер  ECC
testrezh=[0 0 0];  %тестовый режим
idcanaprindan=de2bi(RXCHIDcode,4);%идентификатор канала
identconfigprib= de2bi(3,32);%Идентификатор конфигурации
                                  прибора
nomevspomslov= de2bi(count,8);% Индексы слов
                                  вспомогательных данных
vspomslow= ADWIDX(j,:);%вспомогательные данные
schetpak= de2bi(t,32);       %счетчик космических пакетов
schetimp= de2bi(tre,32);%счетчик импульсов
flagoshib=[0];                %флаг ошибки
rezhbak= de2bi(12,5);         %режим сжатия
dlynnblokbak= de2bi(128,8);   %длинна блока
```

Объединение метаданных и данных выборок в пакет, а также его запись происходит согласно Листингу 3

Листинг 3 - Объединение метаданных и данных выборок в пакет

```
pct=([paket(j,:), posledovat(j,:)])
name=['pak' num2str(count)];                %смена имени
save(name, 'pct', '-double');               %сохранение пакета
```

Выходным продуктом, реализованной в MatLab модели, является 65 пакетов объединённых вспомогательных и основных радиолокационных данных РСА системы ДЗЗ.

С помощью функции построения графиков *barh*, которая отображает значения в векторе или матрице в виде горизонтальных баров, был построен график (рисунок 14), отображающий значение размерности полей вторичного и первичного заголовков, также была использована функция *length*, возвращающая максимальное значение размерности массива.

Наименования полей и длительность считанных значений соответствует протоколу SPP. Это значит, что пакет сформирован корректно и соответствует стандарту.

PolotskSU

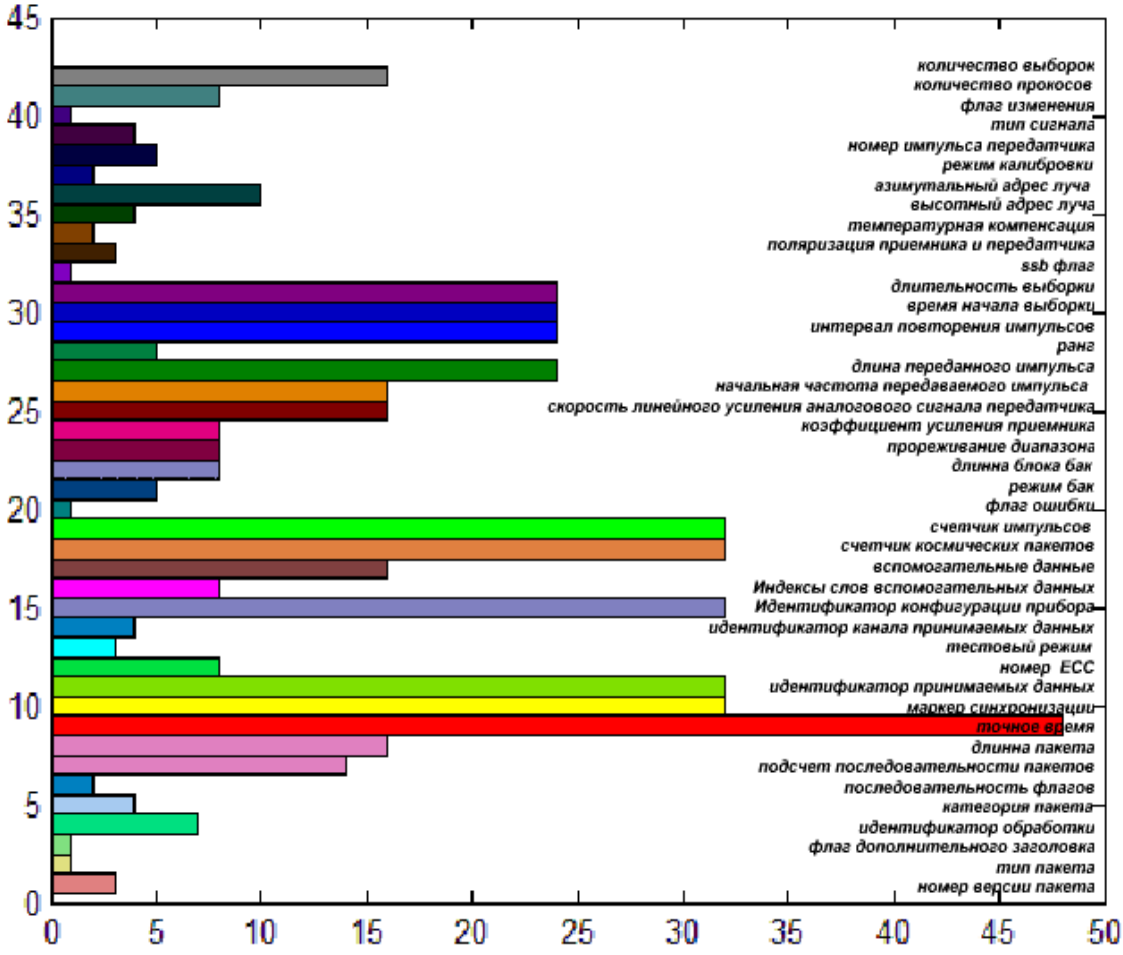


Рисунок 14 - Значения размерностей полей вторичного и первичного заголовков

3.2 Моделирование формирования радиолокационного изображения для данных, представленных в формате CEOS

3.2.1 Программная реализация модели

Программная модель разработана по методике, рассмотренной в [20]. При моделировании алгоритма формирования РЛИ реализованы и использовались следующие функции:

Ref_r – функция рассчитывает период дискретизации быстрого времени (листинг 4), рассчитывает количество отсчетов и формирует массив значений, принимаемых быстрым временем. Также рассчитывает фазу переданного сигнала по дальности, и формирует опорную функцию по дальности. Опорная функция по дальности рассчитывается только один раз (на первой итерации) и в дальнейшем не меняется.

Листинг 4 – MatLab-функция для формирования опорной функции по дальности

```
function chirp=ref_r(fc,slope,tau,fs,nValid);
% fc : центральная частота
% slope : угол отклонения ЛЧМ (оценка ЛЧМ)
% tau ; длительность импульса
% fs : частота дискретизации
% nValid : количество отсчетов
dt=1/fs;                                                    % Шаг изменения времени
npts = floor(tau*fs);                                       % Количество отсчетов времени
t = [-npts/2:npts/2-1]*dt;                                  % Массив значений времени
phase = 2*pi*fc*t+pi*slope*t.^2;                            % фаза переданного сигнала
% Построение графика опорной функции по дальности:
figure
chirp=exp(i*phase);
plot(t,chirp)
title('ЛЧМ-сигнал')
chirp=[exp(i*phase) zeros(1,nValid-length(phase))];
```

Comp_r – функция выполняет процедуру сжатия данных по дальности (листинг 5). Для этого на каждой итерации производится операция БПФ, свертка с комплексно-сопряженной опорной функцией, и операция ОБПФ.

Листинг 5 – MatLab-функция для сжатия по дальности

```
function data=comp_r(ref,data,nValid,numLines)
% ref : Опорная функция по дальности
% data : Необработанные данные
% nValid : номер отсчета по дальности
                                        % numLines : номер строки по азимуту
fftlen= 2^ceil(log2(nValid));                               % ближайшее большее целое равное
                                                            % степени 2
fftref = conj(fft(ref,fftlen));                             % комплексно-сопряженная функция
                                                            % для БПФ вычисленной для fftlen
                                                            % точек для опорной функции
data = fft(data,fftlen,2);                                  % БПФ для  (2048    8192)
                                data = ifft(data .* repmat(fftref,numLines,1),[],2);
                        data(:,nValid+1:end) = [];
```

Dop_centr_fr – функция используется для определения центральной доплеровской частоты (листинг 6), и использует метод среднего изменения фазы. Рассчитывается фаза каждого отраженного сигнала, находиться разность между соседними отсчетами по азимуту для каждого значения по дальности. Затем находится среднее арифметическое значение всех средних значений изменения фаз между соседними отсчетами.

PolotskSU

Листинг 6 – MatLab-функция для определения центральной доплеровской частоты

```
function fdc=dop_centr_fr(data,prf);
% data : даные сжатые по дальности
% prf : частота следования импульсов

sumLines = sum(data(2:end,:) .* conj(data(1:end-1,:)));
figure
avgPhChg = atan2(imag(sumLines),real(sumLines));
meanAvgPhChg=mean(avgPhChg);                    % Среднее арифметическое значение
                                                % фаз отраженного сигнала
disp(sprintf('Ср. арифметическое знач. фаз отраженного сигнала  %d  [рад]',meanAvgPhChg))
fdc = mean(avgPhChg)/(2*pi)*prf;                % центральная доплеровская частота
disp(sprintf('Центральная доплеровская частота %d Hz', fdc))
plot(avgPhChg);
hold on
plot([0 2000],[0 0]+mean(avgPhChg),'k--');
xlabel('отсчеты по дальности');
ylabel('avgPhChg [рад]');
title('Метод среднего изменения фазы');
```

Chirp_az – данная функция рассчитывает фазу переданного сигнала по азимуту, а формирует опорную функцию по азимуту (листинг 7).

Листинг 7 – MatLab-функция для формирования опорной функции по азимуту

```
% Формирование опорной функции по азимуту.
function chirp=chirp_az(fc,slope,tau,fs,numLines);
% fc : центральная частота
% slope : угол отклонения ЛЧМ (оценка ЛЧМ)
% tau ; длительность импульса
% fs : частота дискретизации
% numLines : количество линий
dt=1/fs;
npts = floor(tau*fs);
t = [-npts/2:npts/2-1]*dt;
phase = 2*pi*fc*t+pi*slope*t.^2;
chirp=[exp(i*phase) zeros(1,numLines-length(phase))];
```

Ref_az – функция используется для формирования опорной функции по азимуту (листинг 8). Определяет наклонную дальность как функцию доплеровской частоты, раскрыв антенны на уровне 3 дБ, создает массив значений медленного времени, определяет количество действительных отсчетов по азимуту (т.о. вычисляется на сколько каждая соседняя часть РЛИ будет перекрывать соседнюю часть) и генерируется массив значений опорной функции для каждого отсчета по дальности. Использует для этого функцию Chirp_az.

PolotskSU

PolotskSU

Листинг 8 - MatLab-функция для формирования опорной функции по азимуту для каждого отсчета по дальности

```
function [az_ref,validAzPts]=ref_az(doppler,nValid,fs,ro,vEff,lambda,prf,numLines)
% doppler : центральная доплеровская частота
% nValid : номер отсчета по дальности
% fs : частота дискретизации
% ro : ближняя наклонная дальность
% vEff : путевая скорость платформы
% lambda : длина волны
% prf : Частота следования импульсов
% numLines : номер отсчета по азимуту
L=10;
c = 2.99792458e+08;
% Вычисление дальности перпендикулярно направлению движения:
range = ro + [0:nValid-1] * (c/(2*fs));
rdc = range/sqrt(1-(lambda*doppler/(2*vEff))^2);  % Наклонная дальность
fRate = -(2*vEff^2/lambda)./rdc;  % Оценка доплеровской частоты
az_beamwidth = rdc * (lambda/L) * 0.8;  % ширина раскрыва антены на
                                        % уровне 3дБ
tau_az = az_beamwidth / vEff;           % массив времени, в течении
                                        % которого точка находится в
                                        % в пределах ДНА
nPtsAz = ceil(tau_az(end) * prf);       % Используется для дальней
                                        % дальности
validAzPts = numLines - nPtsAz ;        % количество действительных
                                        % отсчетов по азимуту (размер
                                        % апертуры)
% Генерация опорной функции по азимуту для каждого отсчета по дальности
for rangeBin=1:nValid
az_ref(:,rangeBin) = chirp_az(doppler,
fRate(rangeBin),tau_az(rangeBin), prf, numLines);
end
```

R_migr – функция, использующаяся для компенсации миграции дальности (листинг 9). Определяет величину частотного сдвига для каждого отсчета по азимуту, прибавляет к соответствующим отсчетам величину смещения.

Листинг 9 – MatLab-функция для компенсации миграции дальности

```
function rcmc_data = r_migr(data, doppler, lambda, prf, vEff, ro, del_sr,validAzPts);
% data : данные сжатые по дальности в частотной области
% doppler : центральная доплеровская частота
% lambda : длина волны
% prf : частота следования импульсов
% vEff : путевая скорость платформы
% ro : ближняя наклонная дальность
% delta_sr : Расстояние между пикселями по дальности
% ValidAzPts : количество действительных отсчетов по азимуту
nValid = size(data,2);
fftlen_az = size(data,1);
delta_f = [0:fftlen_az-1]' * (prf/validAzPts) + doppler;
offset = (1./sqrt(1-(lambda*delta_f/ (2*vEff) ).^2) - 1)* (ro + [0:nValid-1] * del_sr );
offset = round(offset/del_sr);
ind = reshape([1:nValid*fftlen_az],fftlen_az,nValid) +offset * fftlen_az;
data = [data,zeros(fftlen_az,1)];
ind(ind>nValid*fftlen_az) = (nValid+1)*fftlen_az;
rcmc_data = data(ind);
```

Comp_az – функция выполняет процедуру сжатия по азимуту (листинг 10). Для этого выполняется свертка с опорной функцией по азимуту данных, полученных после компенсации миграции дальности, и процедура ОБПФ.

Листинг 10 – MatLab-функция для сжатия по азимуту

```
function slc_data=comp_az(rcmc_data,az_ref);
% az_ref : опорная функция по азимуту
% rcmc_data : Данные после компенсации миграции дальности
az_ref=conj(fft(az_ref));
slc_data = ifft(rcmc_data.*az_ref); % Сжатое по дальности изображение
```

Для моделирования также использованы стандартные функции MatLab:

Fopen – функция используется для открытия файла, расположенного по указанному пути, для чтения или для записи (в зависимости от установленного флага)

Fwrite – функция используется для записи информации в бинарные файлы

Fread – функция используется для чтения информации из бинарных файлов

Fseek – функция используется для перемещения курсора на требуемую позицию, при чтении или записи бинарного файла

Fclose – функция используется для закрытия файла, если его использование больше не требуется

Str2num – функция используется для преобразования строки данных в арифметическое выражение

Sqrt – функция используется для вычисления квадратного корня числа, или элементов массива

Floor – функция используется для получения значения, округленного до ближайшего меньшего целого

Ceil – функция используется для получения значения, округленного до ближайшего большего целого

Zeros – функция используется для создания массива заданного размера, заполненного нулевыми значениями

Conj – функция используется для нахождения комплексно-сопряженного значения

Fft – функция используется для вычисления дискретного преобразования Фурье. Использует алгоритм быстрого преобразования фурье

Ifft – функция используется для выполнения обратного преобразования Фурье

Log2 – функция используется для вычисления логарифма по основанию 2

Abs – функция используется для нахождения абсолютного значения числа для действительных чисел, или модуля комплексного числа.

Mean – функция используется для определения среднего арифметического значения элементов массива

PolotskSU

PolotskSU

Sum – функция используется для нахождения суммы элементов массива

Atan2 – функция используется для вычисления арктангенса от значений элементов связанных действительных массивов.

Imag – функция используется для нахождения мнимой части комплексного числа

Real – функция используется для нахождения действительной части комплексного числа

Exp – функция используется для вычисления экспоненты

Size – функция, которая возвращает число строк и столбцов массива

3.2.2 Анализ представляемых данных ERS-1 и ERS-2

Для формирования РЛИ из необработанных данных предоставляемых спутниками ERS-1 и ERS-2 используются следующие характеристики длина антенны $L = 10$ м, высота спутника над поверхностью Земли $h = 782\,000$ м, оценка скорости изменения частоты ЛЧМ сигнала $K_R = 4{,}19 \cdot 10^{11}$ [34, 35]. Спутником ERS-2 часть метаданных, необходимых для формирования РЛИ уровня 1А, не предоставляется, а именно: длительность строба дальности и углы падения к ближней, центральной и дальней точкам. При моделировании алгоритма формирования РЛИ эти особенности учитывается при расчете ближней наклонной дальности (листинг 11). Для снимков ERS-1 ближняя наклонная дальность рассчитывается.

Листинг 11 – Определение ближней наклонной дальности с учетом различий в предоставлении данных для спутников ERS-1 и ERS-2

```
if missionid=='ERS1          ';
   ro=(c*rangeGateDelay)/2;                    % Ближняя наклонная дальность для
                                   % ERS1
end
 if missionid=='ERS2          ';
   ro=h/cosd(20);                          % Ближняя наклонная дальность для
                                   % ERS2
end
```

В таблице 2 представлены основные отличия между вспомогательными данными предоставляемыми ERS-1 и ERS-2 [3, 36]

Таблица 2 – Сравнение данных, предоставляемых спутниками

Описание	**ERS-1 (Пример предоставляемого значения)**	**ERS-2**	**Расположение в файле**
Направление датчика платформы в надире относительно центра кадра (положительна в направлении по часовой стрелки от севера)	194.304 градусов	Не предоставляется	С 1189 байта в файле заголовка (с 469 байта в записи с общими сведениями о необработанных данных)

Продолжение табл. 2 - – Сравнение данных, предоставляемых спутниками

Описание	**ERS-1 (Пример предоставляемого значения)**	**ERS-2**	**Расположение в файле**
Фактическое значение постоянной составляющей для синфазной/квадратурной составляющих	-0,2380000/ -0,0950000	Не предоставляется	С 1539/1555 байта в файле заголовка (с 819/835 байта в записи с общими сведениями о необработанных данных)
Длительность строба дальности для первой/средней/последней точек	$5.5503160 \cdot 10^{-3}$ с/ $5.6983980 \cdot 10^{-3}$ с / $5.8464800 \cdot 10^{-3}$ с	Не предоставляется	С 2487/2503/2519 байта в файле заголовка (с 1767/1783/1799 байта в записи с общими сведениями о необработанных данных)
Ширина кросс-корреляционной функции между первым извеченным и номинальным ЛЧМ-импульсом на уровне 3дБ	1,142	Не предоставляется	С 3807 байта в файле заголовка (с 155 байта в записи необработанных данных связанных с установкой)
Первый/относительный уровень боковых лепестков кросс-корреляционной функции	-9,9390000/ -6,7790000	Не предоставляется	С 3823/3839 байта в файле заголовка (с 171/187 байта в записи необработанных данных связанных с установкой)
Среднее расчетное значение синфазных входных данных	-0,2380000	Не предоставляется	С 3823байта в файле заголовка (с 235 байта в записи необработанных данных связанных с установкой)
Оценка среднего значение квадратурных входных данных	-0,0950000	Не предоставляется	С 3887 байта в файле заголовка (с 251 байта в записи необработанных данных связанных с установкой)
среднеквадратическое отклонение синфазных входных данных	7,3580000	Не предоставляется	С 3903 байта в файле заголовка (с 267 байта в записи необработанных данных связанных с установкой)
среднеквадратическое отклонение квадратурных входных данных	7,3160000	Не предоставляется	С 3919 байта в файле заголовка (с 283 байта в записи необработанных данных связанных с установкой)
Коэффициент усиления системы калибровки после обработки первой строки	11,0000000	Не предоставляется	С 3935 байта в файле заголовка (с 299 байта в записи необработанных данных связанных с установкой)

PolotskSU

Продолжение табл. 2 - – Сравнение данных, предоставляемых спутниками

Описание	ERS-1 (Пример предоставляемого значения)	ERS-2	Расположение в файле
Коэффициент усиления приемника после обработки первой строки	15,0000000	Не предоставляется	С 3951 байта в файле заголовка (с 315 байта в записи необработанных данных связанных с установкой)
Поправка для синфазного/квадратурного канала	0,2380000/ 0,0950000	Не предоставляется	С 3983/3999 байта в файле заголовка (с 363/379 байта в записи необработанных данных связанных с установкой)
Угол падения для первой/средней/крайней точки	19,4360000/ 23,7960000/ 27,3090000	Не предоставляется	С 4235/4251/4267 байта в файле заголовка (с 583/599/615 байта в записи необработанных данных связанных с установкой)

3.2.3 Обработка данных со спутника ERS-1

В качестве исходных данных при исследовании модели формирования радиолокационного изображения использованы представленные в формате CEOS необработанные данные, полученные со спутника ERS-1 [29]. Размер используемого РЛИ с количеством отсчетов $N = 28000$, количество пикселей в строке $K_{pixel} = 4912$. Количество отсчетов по апертуре $K_{az} = 1121$, тогда количество итераций будет $K_{step} = 25$. Количество строк по азимуту, для каждой итерации $K_{part} = 2048$, т. о. перекрытие между соседними частями РЛИ составляет около 45,3%.

Наличие боковых лепестков в ДНА по азимуту приводит к такому явлению, как неоднозначность по азимуту, которое обуславливает появление на РЛИ «призрачных» объектов, возникающих из-за получения переотраженных сигналов [1]. Результаты моделирования демонстрируют появление такого эффекта для выделенной области фрагмента изображения (рисунок 15б.) на соседних фрагментах РЛИ (рисунок 15а и рисунок 15в).

PolotskSU

PolotskSU

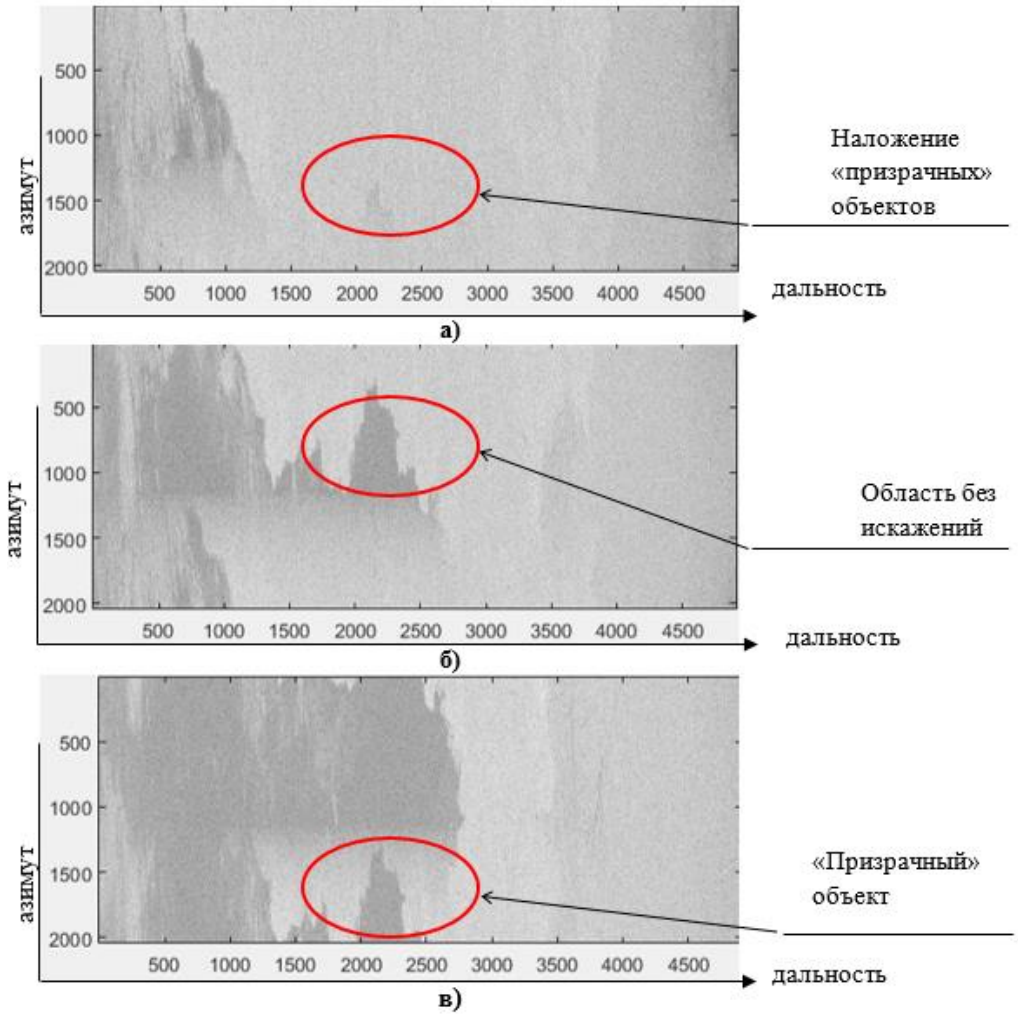


Рисунок 15 – Пример неоднозначности по азимуту: а) фрагмент РЛИ со скрытием реального объекта «призрачными» при $M_{step} = 10$; б) фрагмент РЛИ при $M_{step} = 11$ без искажений; в) фрагмент РЛИ с «призрачным» объектом при $M_{step} = 12$

На рисунке 16 представлены примеры формирования радиолокационного изображения в координатах наклонная дальность /азимут на основе необработанных данных, полученных со спутника ERS-1, которые представлены в формате CEOS. На изображении (рисунок 16в) «призрачные» объекты отсутствуют, т.к. согласно работе алгоритма, соседние фрагменты при обработке суммируются и накладываются друг на друга, соответственно неоднозначность по азимуту не оказывает существенного влияния на построенное радиолокационное изображение.

Следующим этапом обработки РЛИ является геометрическая коррекция, что подразумевает преобразование из координат наклонная дальность/азимут в координаты горизонтальная дальность/азимут, РЛИ принимает вид, показанный на рисунке 17а. Изображения этого уровня характеризуются уменьшенной зернистостью и приводятся к приблизительно квадратным ячейкам разрешения. Для получения изображения с геометрической коррекцией усредняются значения между 20 отсчетами по азимуту, и 4 отсчетами по дальности.

PolotskSU

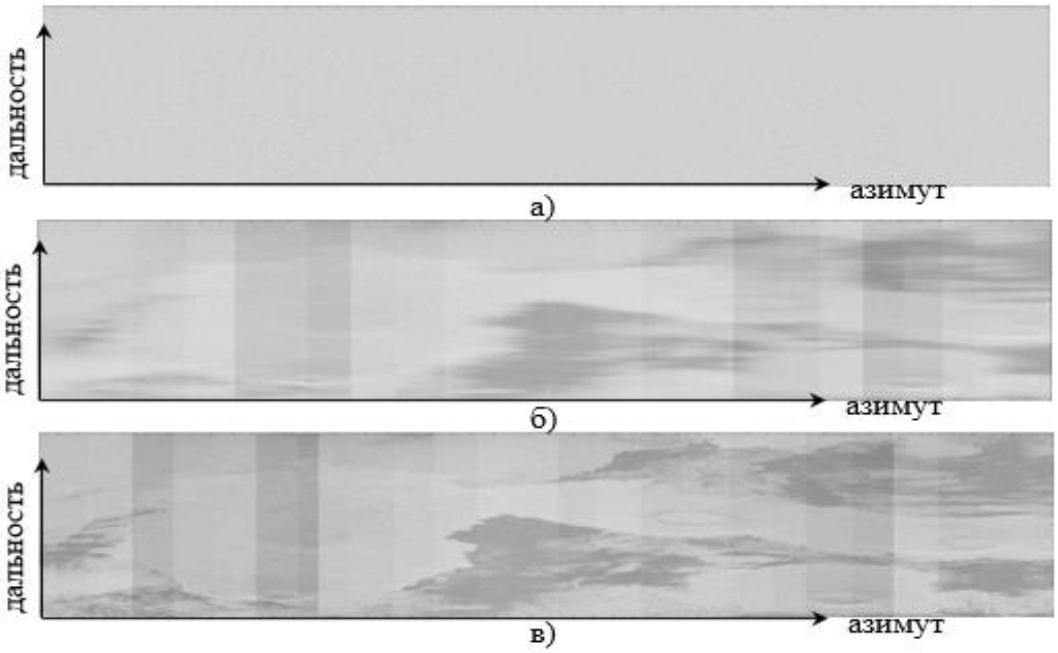
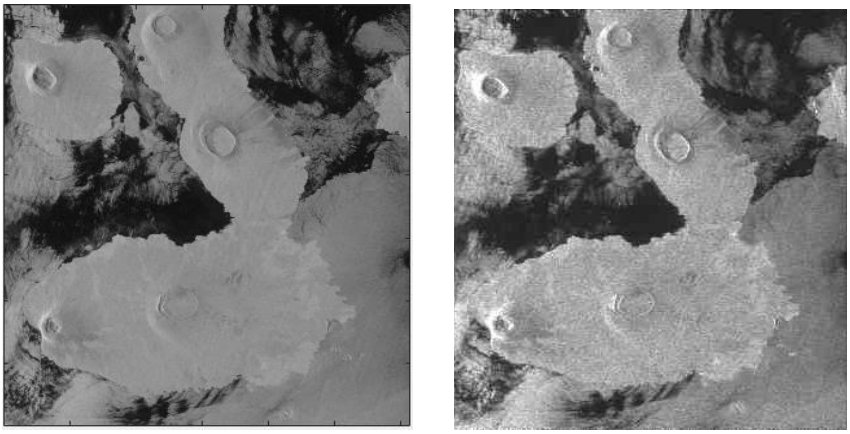


Рисунок 16 – Этапы формирование РЛИ. а – РГГ, б – РЛИ со сжатием по дальности, в – РЛИ со сжатием по азимуту (сфокусированное комплексное изображение)

Адекватность модели подтверждается сравнением полученного в результате моделирования РЛИ с изображением, предоставленным вместе с необработанными данными ДЗЗ (рисунок 17б).



а) б)

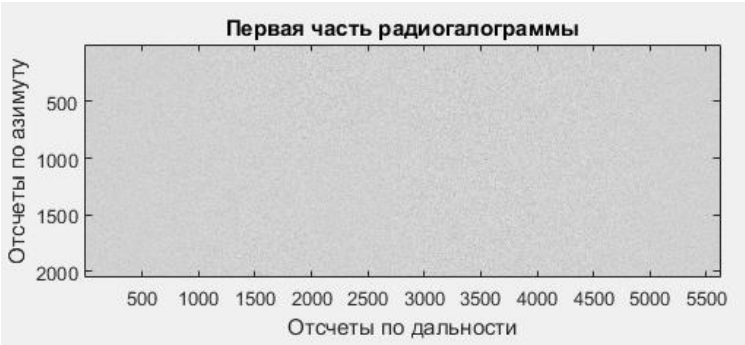
Рисунок 17 - Результат геометрической коррекции сфокусированного изображения а – изображение, полученное при моделировании; б – сфокусированное изображение, предоставленное в пакете с необработанными данными

3.2.4. Обработка данных со спутника ERS-2

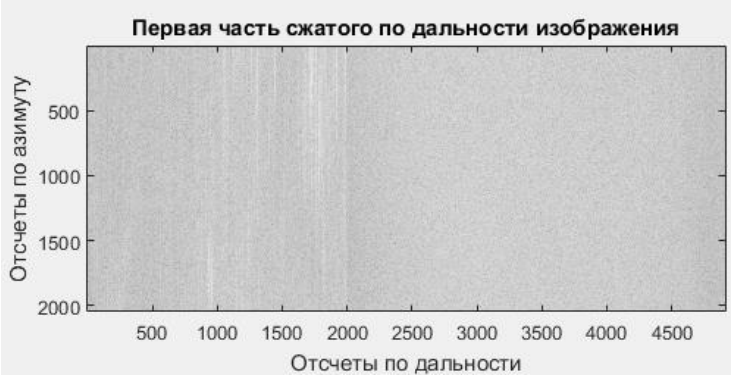
В качестве исходных данных при исследовании модели формирования радиолокационного изображения использованы также представленные в формате CEOS необработанные данные, полученные со спутника ERS-2 [11]. Размер используемого РЛИ $N = 29199$, количество пикселей в строке $K_{pixel} = 4912$. Количество отсчетов по апертуре п $K_{az} = 1117$, тогда количество итераций будет

$K_{step} = 26$. Количество строк по азимуту, для каждой итерации $K_{part} = 2048$, т. о. перекрытие между соседними частями РЛИ составляет около 45,5%.

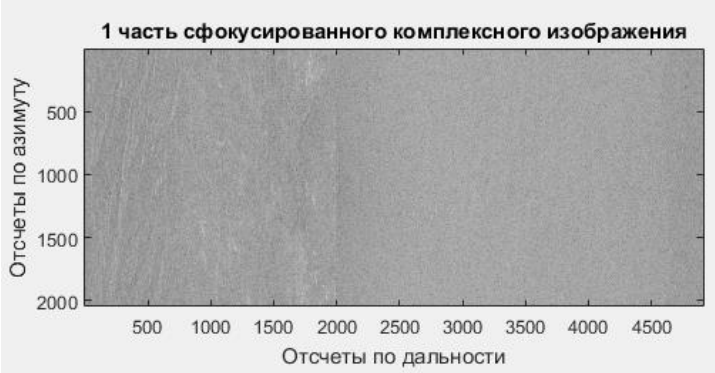
На рисунке 18 представлены первые части этапов формирования радиолокационного изображения в координатах наклонная дальность /азимут на основе необработанных данных, полученных со спутника ERS-2.



а)



б)



в)

Рисунок 18 – Пример формирования первой части изображения: а) необработанные входные данные; б) результат сжатия по дальности; в) сфокусированное комплексное изображение

После совмещения всех частей комплексного сфокусированного изображения и геометрической коррекции, РЛИ принимает вид, показанный на рисунке 19

PolotskSU

PolotskSU

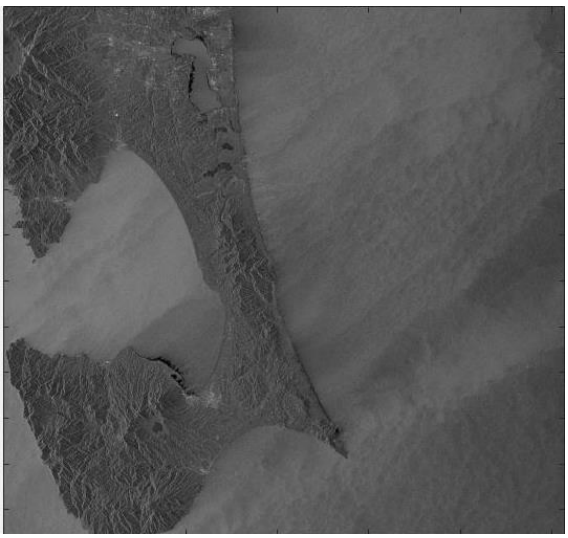


Рисунок 19 - Результат геометрической коррекции сфокусированного изображения спутника ERS-2

3.3 Моделирование базовой схемы обработки сигналов РСА

Для обеспечения быстродействия, надежности и достоверности передачи телеметрических и радиолокационных данных от космического аппарата к приемнику наземного пункта используется сжатие исходных данных, пакетирование и помехоустойчивое кодирование. Для моделирования алгоритмов обработки данных РСА космического аппарата для их передачи и формирования радиолокационного изображения использована модель, разработанная в рамках выполнения задания по данной НИР и представленная в [30,31].

Модель состоит из блока основных данных РСА и метаданных, кодера источника, блока перестановки данных, формирователя пакетов, помехоустойчивого кодера, блока формирования сигналов синхронизации, формирователя кадра, модулятора, блока генерации ошибок, демодулятора, блока выделения синхросигналов, помехоустойчивого декодера, блока восстановления пакета, блока перестановки данных, декодера источника, блока фокусировки данных.

На рисунке 20 для данных из [29] представлены радиолокационные изображения, полученные на выходе разработанной модели, для различных значений коэффициента по оценке отношения сигнал/шум в цифровых каналах связи E_b/N_0, где E_b — энергия одного бита информации, N_0 спектральная плотность мощности белого шума в канале.

PolotskSU

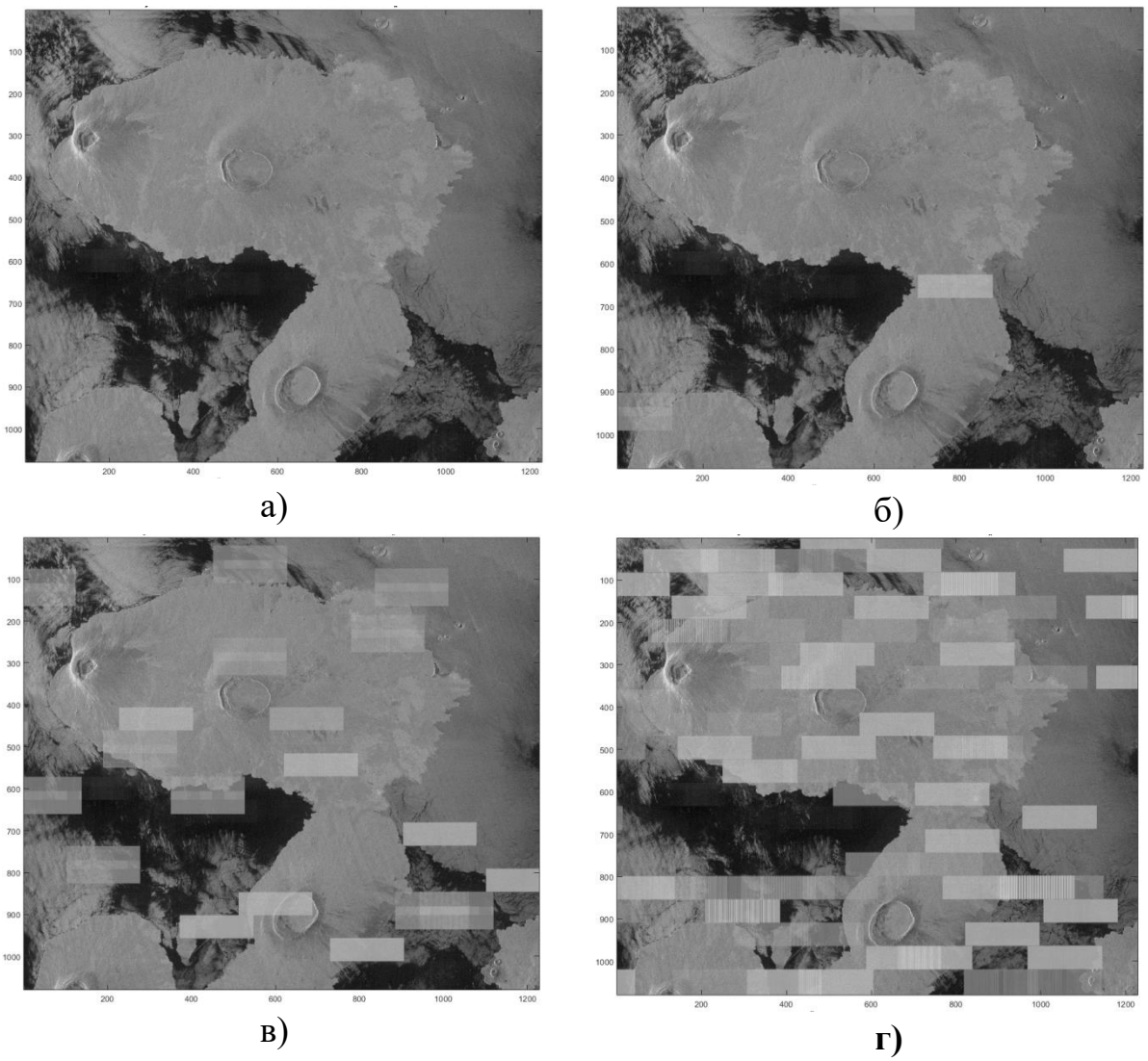


Рисунок 20 – Сфокусированные изображения: а) для E_b/N_0 = 9,3 дБ; б) для E_b/N_0 = 9 дБ; в) для E_b/N_0 = 8.8 дБ; в) для E_b/N_0 = 8.7 дБ

Представленные изображения свидетельствуют о том, что модель базовой схемы обработки сигналов работает корректно на всех этапах обработки радиолокационных данных.

PolotskSU

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В ходе исследований по теме за 2016-2018гг. получены следующие основные результаты:

– определены требования к формату и составу представления необработанных радиолокационных данных ДЗЗ. Для представления необработанных радиолокационных данных применяется формат CEOS, предписывающий использование структуры из четырех файлов, включая файл каталога тома, файл заголовка, файл данных, файл нулевого тома. Файлы различны по структуре, но их начало идентичное и содержит информацию о порядковом номере записи, типе кода записи, длину рассматриваемой записи. Файл каталога тома включает записи описания тома, указателя на файл заголовка, указателя на файл данных, текстовую запись. Файл заголовка включает записи описания файла, сводного массива необработанных данных, необработанных данных о положении источника, данных общего типа связанных с установкой, данных качественного типа связанных с источником данных. Файл данных включает записи описания файла и необработанного сигнала. Файл нулевого тома включает описание файла и содержит идентификаторы томов, количество томов, порядковые номера, дату, время, страну, организацию создания тома;

– определены состав и структура представления обработанных до уровня 1 В радиолокационных данных и вспомогательных метаданных спутника TerraSAR-X. Основные данные в комплексном виде представляются в файле формата COSAR в виде прямоугольной матрицы, в которой каждый столбец соответствует расстоянию по дальности и содержит информацию о данных азимута. Метаданные располагаются в первых четырех строках матрицы и в начале каждой последующей строки. Вспомогательные данные, записанные в первых четырех строках, повторяются в каждом сформированном пакете и содержат информацию о радиопередаче и общую информацию о сформированном файле. В первую строку каждого пакета заносятся основные параметры: число байт в текущей передаче; индекс дальности; количество строк, хранящих значения по дальности; количество азимутальных столбцов; индекс номера радиопередачи; общее количество байт в строке в направлении дальности; общий размер азимутальных строк; частоту дискретизации первой выборки по отношению к текущей выборке дальности; идентификатор COSAR файла и версии сформированного файла;

– синтезирован алгоритм представления радиолокационных данных в формате COSAR, который включает следующие основные шаги: импорт сфокусированного РЛИ с геометрической коррекцией; формирование верных и искаженных данных азимутальной выборки; заполнение заголовка первой строки; формирование верных и искаженных данных выборок по дальности; реструктуризация данных РЛИ; запись COSAR файла. На основе методики реализована программная модель в пакете MatLab;

– разработан алгоритм сжатия радиолокационных данных на основе энтропийно-ограниченного блочного адаптивного квантования, который требует выполнения следующих этапов для блока: расчет количества уровней; определение размера шага; квантование данных на основе рассчитанных значений; определение среднеквадратического отклонения (СКО); вычисление энтропии; если значение энтропии больше заданной разрядности выходных данных, то повтор квантования с уменьшенным на единицу шагом; если значение СКО больше порогового уровня, то увеличение на единицу числа уровней и повтор квантования; если максимальный индекс квантователя превышает значение разрядности выходных данных, то повтор квантования с увеличением пороговых значений; запись индексов уровней и максимальной амплитуды; кодирование алгоритмом Хаффмана. Данный алгоритм обеспечивает улучшение отношения сигнал/шум по сравнению с традиционным алгоритмом энтропийно-ограниченного блочного адаптивного квантования до 2 дБ;

Результаты НИР используются при организации учебного процесса на кафедре вычислительных систем и сетей по курсу «Цифровая обработка сигналов и изображений» для студентов специальности 1-40 02 01 «Вычислительные машины, системы и сети» и второй ступени высшего образования специальности 1-40 80 04 «Математическое моделирование, численные методы и комплекс программ», а также на кафедре энергетики и электроники по курсам «Цифровая обработка сигналов», «Телекоммуникационные технологии и системы» и для студентов первой ступени высшего образования специальности 1-39 01 01 «Радиотехника».

Выполненные исследования проводились в соответствии с планом работ по теме на 2016-2018гг. План работ выполнен в полном объеме.

PolotskSU

PolotskSU

Список использованных источников

1. Верба, В. С. Радиолокационные системы землеобзора космического базирования // В. С. Верба, Л. Б. Неронский, И. Г. Осипов, В. Э. Турук – Москва: Радиотехника, 2010. –680 с.

2. Шпенст, В. Радиолокационные станции дистанционного зондирования Земли космического базирования / В. Шпенст // Компоненты и технологии. – 2013. – № 3. – С. 154–58.

3. CEOS WGD on Synthetic Aperture Radar Data Product Format Standards issue 2 revision (CEOS-SAR-CCT) // Committee on Earth Observation Satellite (CEOS) Data Subgroup, 1989.

4. Беленов, А.В. Стандартные уровни обработки и форматы представления данных ДЗЗ из космоса. Мировой опыт /А.В. Беленов // Геоматика. - 2009. - № 4. - С. 18-20.

5. Полетаев, А.М. Стандартизация радиолокационных данных дистанционного зондирования Земли как процедура описания показателей их информативности / А.М. Полетаев //Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. – 2008. – №5.-Т.1 – С. 303–310.

6. Федоткин, Д. И. Технологии предварительной обработки данных ДЗЗ: опыт ИТЦ "СканЭкс"в создании программного обеспечения и организации обработки данных в составе приемных комплексов / Д.И. Федоткин // Пространственные данные. - 2006. - №1. - С. 40-43.

7. Самые точные и детальные геопространственные данные. TerraSAR-X, TanDEM-X [Электронный ресурс]: – Режим доступа: https://innoter.com/satellites/931

8. Document specifying the format of delivery, data structure, metadata information of TerraSAR-X data products [Electronic resource]. – Mode of access: http://www.intelligence-airbusds.com/files/pmedia/public/r460_9_030201_level-1b-product-format-specification_1.3.pdf

9. Богуш, Р.П. Структура и формат представления радиолокационных данных дистанционного зондирования Земли спутником TerraSAR-X / Р.П. Богуш, В.М. Чертков, Н.М. Наумович // Информатика: проблемы, методология, технологии. Материалы XVII Междун. конф., 9-10 февраля 2017 г. – Воронеж: Воронежский гос. ун-т, 2017. –Т.4 - с.8-13

10. Чертков, В.М. Особенности структуры и формата представления радиолокационных данных спутником TerraSAR-X/ В.М. Чертков, Р.П. Богуш, Н.М. Наумович // Вестник Полоцкого государственного университета, серия С. Фундаментальные науки, 2017г. №4 – с. 21-27

11. Geohazard Supersites and Natural Laboratories [Electronic resource]. – Mode of access: http://eo-virtual-archive4.esa.int/search/ER02_SAR_RAW_0P/ER02_SAR_IM__0P_20110701T182202_20110701T182219_DPA_84681_0000.CEOS.tar/html/

PolotskSU

12. Богуш, Р.П. Моделирование алгоритма формирования радиолокационного изображения на основе представленных в формате CEOS необработанных данных дистанционного зондирования Земли / Р.П. Богуш, С.А. Игнатьева, Н.М. Наумович, С.П. Урбанович // Вестник Полоцкого государственного университета, серия С. Фундаментальные науки. - 2016г. - №12. – с. 13-21

13. COSMO-SkyMed SAR Products Handbook - e-GEOS [Electronic resource]. – Mode of access: http://www.e-geos.it/products/pdf/csk-product%20handbook.pdf

14. Лукьянов А.О. Особенности представления радиолокационных данных группой спутников COSMO-SkyMed в формате HDF / А.О. Лукьянов, Р.П. Богуш // Информатика: проблемы, методология, технологии. Материалы XVII Междун. конф., 9-10 февраля 2017 г. – Воронеж: Воронежский гос. ун-т, 2017. –Т.4 - с. 42-47

15. Technical Note: Envisat ASAR Data Decoding//[Electronic resource]. – Mode of access: https://earth.esa.int/documents/10174/1592412/ENVTEC145F.pdf. – Date of access: 18.03.17.

16.Agrawal, N. SAR signal processing algorithms / N. Agrawal, K. Venugopalan // ARPN Journal of Engineering and Applied Sciences. – 2009. – V. 4. – № 9. – P. 40–45.

17. Algra, T. Compression of raw SAR data using entropy-constrained quantization // IEEE IGARSS, Honolulu, HI, 14 June 2000. – Vol. 6. – P. 2660–2662.

18. Algra, T. Advanced on-board SAR data compressor/ T. Algra, L. Bierens //[Electronic resource]. – Mode of access: https://reports.nlr.nl/xmlui/bitstream/handle/10921/337/TP-2006-274.pdf?sequence=1. – Date of access: 15.07.17.

19. Algra, T. Data compression for operational SAR missions using Entropy-Constrained Block Adaptive Quantisation //[Electronic resource]. – Mode of access: http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.160.3687&rep=rep1&type=pdf– Date of access: 15.07.17.

20. Богуш, Р.П. Моделирование сжатия радиолокационных данных дистанционного зондирования земли алгоритмом ECBAQ и представления восстановленных данных в формате CEOS / Р.П. Богуш, И.Ю. Захарова, Н.М. Наумович, // Вестник Полоцкого государственного университета, серия С. Фундаментальные науки, 2017г. №12 – с. 21-27

21. Agrawal, N. Analysis of Complex SAR Raw Data Compression/ Agrawal, N., Venugopalan, K. // Progress In Electromagnetics Research Symposium, Cambridge, USA, July 2–6, 2008 P. 155 - 160

22. Benz, U. A Comparison of Several Algorithms for SAR Raw Data Compression / U. Benz, K. Strodl, A. Moreira // IEEE Transactions on geoscience and remote sensing. – 1995. – V. 33. – № 5. – P. 1266–1276

23. Peshkova, S. Analysis of Complex SAR RAW Data Compression/S. Peshkova, S. Vnotchenko// [Electronic resource]. – Mode of access: http://adsbit.harvard.edu/cgi-bin/nph-iarticle_query?bibcode=2000ESASP.450D..19F&db_key=AST&page_ind=555&plate_sel

ect=NO&data_type=GIF&type=SCREEN_GIF&classic=YES. – Date of access: 14.02.17.

24. Ватолин, Д. Методы сжатия данных. Устройство архиваторов, сжатие изображений и видео//Д. Ватолин, А. Ратушняк, М. Смирнов, В. Юкин - М.: ДИАЛОГ-МИФИ, 2002. - 384 с.

25. CCSDS Draft Green Book, Issue 0.2, CCSDS 130.3-G-0.2. April 2004, Sagamihara, Japan

26. Sentinel-I SAR Space Packet Protocol Data Unit, S1-IF-ASD-PL-0007, Issue 12, 2014, 85p

27. Zakharova,I. Synthetic aperture radars data formatting based on space packet protocol / I. Zakharava, R. Bohush // European and National Dimension in Research: materials of the X Junior Researchers' Conf., Novopolotsk, May 10-11, 2018 / Polotsk State University.-Novopolotsk, 2018 – p.237-240

28. Захарова, И.Ю. Моделирование пакетирования необработанных основных и вспомогательных данных РСА космического аппарата/ Захарова И.Ю., Богуш Р.П., Наумович Н. М. // Информатика: проблемы, методология, технологии. Материалы XVIII Междун. конф., 8-9 февраля 2018 г. – Воронеж: Воронежский гос. ун-т, 2018. –Т.5 - с.239-242

29. Geohazard Supersites and Natural Laboratories. GEO - Group on Earth Observations. [Electronic resource]. - Mode of access: http://eo-virtual-archive4.esa.int/search/ER01_SAR_IM__0P/html/?name=Franche-Comte . - Date of access: 22.03.16.

30. Богуш, Р.П. Моделирование алгоритмов обработки данных радиолокатора с синтезом апертуры космического аппарата для их передачи и формирования радиолокационного изображения/ Р.П. Богуш, В.М. Чертков, И.Ю. Захарова, Н.М. Наумович // Вестник Полоцкого государственного университета, серия С. Фундаментальные науки, 2018г. №12 – с. 2-8

31. Богуш, Р.П. Алгоритмы обработки данных РСА космического аппарата для их передачи и восстановления / Р.П. Богуш, В.М. Чертков, И.Ю. Захарова, Н.М. Наумович // Информационные технологии в науке, образовании и производстве: VII Междунар. научн.-технич. конф. (17-19 октября 2018г. Белгород): сборник трудов конференции. – Белгород: Изд. ООО «ГиК», 2018 – с. 383-387

PolotskSU

PolotskSU

ПРИЛОЖЕНИЕ А

Состав необработанных радиолокационных данных в соответствии с рекомендациями CEOS

Таблица А1 – Представление необработанных радиолокационных данных

№	Наименование параметра		Формат	Файл	Тип записи	№ № байт в записи	Поправка по порядку записи к № байт	Пример	Единица измерения
1	Номер указанной сцены (Орбита – номер кадра)		A32	LEA	Общие сведения о необработанных данных	37-68	+720	ORBIT=39918-FRAME=2763	
1.2	Номер орбиты		A8	LEA		445-452	+720	39918	
2	Геодезическая широта центра обработанной сцены (положительные – для северной широты, отрицательные – для южной)		F16.7	LEA		117-132	+720	41.8520	градусы
2.1	Геодезическая широта датчика платформы в надире, соответствующем центру кадра		F8.3	LEA		453-460	+720	41.0910	градусы
3	Геодезическая долгота центра обработанной сцены		F16.7	LEA		133-148	+720	12.0350	градусы
3.1	Геодезическая долгота датчика платформы в надире, соответствующем центру кадра		F8.3	LEA		461-468	+720	15.6190	градусы
4	Обозначение эллипсоида		A16	LEA		165-180	+720	GEM6	
5	Параметры эллипсоида	J2	F16.7	LEA		245-260	+720	1.0823e+03	
		J3	F16.7			261-276	+720	-2.3000	
		J4	F16.7			277-292	+720	-0.2000	
6	Длина сцены		F16.7	LEA		341-356	+720	111.3560	км
7	Ширина сцены		F16.7	LEA		357-372	+720	44.3889	км
8	Идентификатор датчика и режим работы канала <AAAAAA-BB-CC-DD-EF> где AAAAAA= идентификатор датчика, BB= диапазон РСА, CC=код режима разрешающей способности, DD=код режима изображения, E=поляризация передатчика, F=поляризация приемника		A32	LEA		413-444	+720	SAR- C-HR-IM-VV	
9	Угол падения в центре кадра		F8.3	LEA		485-492	+720	23.7960	Градусы

PolotskSU

Продолжение табл. А1 - Представление необработанных радиолокационных данных

№	Наименование параметра	Формат	Файл	Тип записи	№ № байт в записи	Поправка по порядку записи к № байт	Пример	Единица измерения
10	Частота радиолокатора	F8.3	LEA	Общие сведения о необработанных данных	493-500	+720	5.3000	ГГц
11	Длина волны радиолокатора	F16.7	LEA		501-516	+720	0.0567	Метры
12	Индикатор компенсации движения «00»=без компенсации, «01»=бортовая компенсация, «10»=компьютерная компенсация, «11»=и бортовая и компьютерная	A2	LEA		517-518	+720	00	
13	Описание стробирующего импульса	A16	LEA		519-534	+720	LINEAR FM CHIRP	
14	Амплитудные коэффициенты стробирующего ЛЧМ импульса, постоянная составляющая	E16.7	LEA		535-550	+720	1.0000000e+00	
15	Амплитудные коэффициенты стробирующего ЛЧМ импульса, линейная составляющая	E16.7	LEA		551-566	+720	0.0000000e+00	$с^{-1}$
16	Амплитудные коэффициенты стробирующего ЛЧМ импульса, квадратичная составляющая	E16.7	LEA		567-582	+720	0.0000000e+00	$с^{-2}$
17	Амплитудные коэффициенты стробирующего ЛЧМ импульса, кубическая составляющая	E16.7	LEA		583-598	+720	0.0000000e+00	$с^{-3}$
18	Амплитудные коэффициенты стробирующего ЛЧМ импульса, составляющая четвертой степени	E16.7	LEA		599-614	+720	0.0000000e+00	$с^{-4}$
19	Фазовые коэффициенты стробирующего ЛЧМ импульса, постоянная составляющая	E16.7	LEA		615-630	+720	0.0000000e+00	Перио-дов в секунду
20	Фазовые коэффициенты стробирующего ЛЧМ импульса, линейная составляющая	E16.7	LEA		631-646	+720	0.0000000e+00	Гц
21	Фазовые коэффициенты стробирующего ЛЧМ импульса, квадратичная составляющая	E16.7	LEA		647-662	+720	2.0889400e+11	$\frac{Гц}{с}$

PolotskSU

Продолжение табл. А1 -Представление необработанных радиолокационных данных

№	Наименование параметра	Формат	Файл	Тип записи	№№ байт в записи	Поправка по порядку записи к № байт	Пример	Единица измерения
22	Фазовые коэффициенты стробирующего импульса, кубическая составляющая	E16.7	LEA	Общие сведения о необработанных данных	663-678	+720	0.0000000e+00	$\frac{Гц}{с^2}$
23	Фазовые коэффициенты стробирующего импульса, составляющая четвертой степени	E16.7	LEA		679-694	+720	0.0000000e+00	$\frac{Гц}{с^3}$
24	Частота дискретизации	F16.7	LEA		711-726	+720	18.9624680	МГц
25	Задержка начала строки по времени в начале формирования изображения	F16.7	LEA		727-742	+720		мс
26	Длительность импульса	F16.7	LEA		743-758	+720	37.1200000	мс
27	Флаг сжатия (YES – если данные сжаты, NO – если нет)	A4	LEA		763-766	+720	NO	
28	Квантование синфазного и квадратурного канала	I8	LEA		799-806	+720	00000005	бит
29	Описание квантизатора	A12	LEA		807-818	+720	UNIFORM IQ	
30	Смещение постоянной составляющей для синфазной составляющей, фактическое значение	F16.7	LEA		819-834	+720	-0.2380000	
31	Смещение постоянной составляющей для квадратурной составляющей, фактическое значение	F16.7	LEA		835-850	+720	-0.0950000	
32	Увеличение синфазного и квадратурного рассогласования, фактическое значение	F16.7	LEA		851-866	+720	-9999999.9999999	
33	Угол механического совмещения с опорным направлением относительно вертикальной оси платформы.	F16.7	LEA		915-930	+720	20.3550000	Градусы
34	Частота следования импульсов, фактическое значение	F16.7	LEA		935-950	+720	1679.9020000	Гц
35	Точное время спутника <ГГГГММДДччммсттт$$$....$>	A32	LEA		999-1030	+720	19990304094359072	
36	Длительность шага спутникового времени, нс	I8	LEA		1031-1038	+720	3906247	нс

PolotskSU

Продолжение табл. А1 - Представление необработанных радиолокационных данных

№	Наименование параметра	Формат	Файл	Тип записи	№№ байт в записи	Поправка по порядку записи к № байт	Пример	Единица измерения
37	Флаг блокирования помех	A4	LEA	Общие сведения о необработанных данных	1679-1682	+720	NOT	
38	Флаг автофокусировки	A4	LEA		1683-1686	+720	NOT	
39	Межстрочный интервал	F16.7	LEA		1687-1702	+720	3.9770000	м
40	Пиксельный интервал	F16.7	LEA		1703-1718	+720	7.9040000	м
41	Временной диапазон для нулевой доплеровской частоты (строб дальности, межпериодное накопление) для первой точки	F16.7	LEA		1767-1782	+720	5.5503160	мс
42	Временной диапазон для нулевой доплеровской частоты (строб дальности, межпериодное накопление) для средней точки	F16.7	LEA		1783-1798	+720	5.6983980	мс
43	Временной диапазон для нулевой доплеровской частоты (строб дальности, межпериодное накопление) для последней точки	F16.7	LEA		1799-1814	+720	5.8464800	мс
44	Момент времени, в который сдвиг доплеровской частоты равен нулю (UTC) <дд-МММ-гггг чч:мм:сс.ттт>	A24	LEA		1815-1838	+720	04-MAR-1999 09:57:21.536	
45	Момент времени, в который сдвиг доплеровской частоты равен нулю (UTC) <дд-МММ-гггг чч:мм:сс.ттт>	A24	LEA		1839-1862	+720	04-MAR-1999 09:57:29.870	
46	Момент времени, в который сдвиг доплеровской частоты равен нулю (UTC) <дд-МММ-гггг чч:мм:сс.ттт>	A24	LEA		1863-1886	+720	04-MAR-1999 09:57:38.204	
47	Количество точек, как правило, равно пяти для VMP	I4	LEA	Необработанные данные о положении платформы	141-144	+720+1886	0005	
48	Год получения информации о точке <ГГГГ>	I4	LEA		145-148	+720+1886	1999	

PolotskSU

Продолжение табл. А1 -Представление необработанных радиолокационных данных

№	Наименование параметра	Формат	Файл	Тип записи	№№ байт в записи	Поправка по порядку записи к № байт	Пример	Единица измерения
49	Месяц получения информации о точке <$$MM>	I4	LEA	Необработанные данные о положении платформы	149-152	+720+1886	0003	
50	День получения информации о точке <$$ДД>	I4	LEA		153-156	+720+1886	04	
51	Порядковый номер дня в году <GMT>, нумерация с 1 января	I4	LEA		157-160	+720+1886	0063	
52	Секунда в текущем дне	E22.15	LEA		161-182	+720+1886	3.5842e+04	
53	Временной интервал между точками	E22.15	LEA		183-204	+720+1886	4.1670	с
54	Справка о системе координат	A64	LEA		205-268	+720+1886	Earth Centred Rotating	
55	Часовой угол по Гринвичу (не относится к VMP)	E22.15	LEA		269-290	+720+1886	-1.0000e+04	градусы
56	Ошибка позиционирования вдоль направления движения (не относится к VMP)	F16.7	LEA		291-306	+720+1886	-1.0000e+07	м
57	Ошибка позиционирования перпендикулярно направлению движения (не относится к VMP)	F16.7	LEA		307-322	+720+1886	-1.0000e+07	м
58	Ошибка определения радиального положения	F16.7	LEA		323-338	+720+1886	-1.0000e+07	м
59	Данные первой точки – вектор положения X	D22.15	LEA		387-408	+720+1886	5.156708640000000E+06	м
60	Данные первой точки – вектор положения Y	D22.15	LEA		409-430	+720+1886	1.457692450000000E+06	м
61	Данные первой точки – вектор положения Z	D22.15	LEA		431-452	+720+1886	4.746239100000000E+06	м
62	Данные первой точки – вектор скорости X’	D22.15	LEA		453-474	+720+1886	5.183244650000000E+03	м/с
63	Данные первой точки – вектор скорости Y’	D22.15	LEA		475-496	+720+1886	-4.818972600000000E+02	м/с

PolotskSU

Продолжение табл. А1 -Представление необработанных радиолокационных данных

№	Наименование параметра	Формат	Файл	Тип записи	№№ байт в записи	Поправка по порядку записи к № байт	Пример	Единица измерения
64	Данные первой точки – вектор скорости Z’	D22.15	LEA	Необработанные данные о положении платформы	497-518	+720+1886	-5.46916171000000E+03	м/с
65	Данные второй точки – вектор положения X	D22.15	LEA		519-540	+720+1886	5.17825771000000E+06	м
66	Данные второй точки – вектор положения Y	D22.15	LEA		541-562	+720+1886	1.45566421000000E+06	м
67	Данные второй точки – вектор положения Z	D22.15	LEA		563-584	+720+1886	4.72340488000000E+06	м
68	Данные 2 точки – вектор скорости X’	D22.15	LEA		585-606	+720+1886	5.15970154000000E+03	м/с
69	Данные 2 точки – вектор скорости Y’	D22.15	LEA		607-628	+720+1886	-4.91593290000000E+02	м/с
70	Данные 2 точки – вектор скорости Z’	D22.15	LEA		629-650	+720+1886	-5.49062283000000E+03	м/с
71	Предыдущие 6 пунктов повторяются столько раз, сколько точек (пункт 47)	D22.15	LEA		651-1046	+720+1886		
72	Значение кросс-корреляционной функции (ККФ) в полосе по уровню -3ДБ между первым принятым ЛЧМ сигналом и номинальным его значением (для процессора Bangkok это значение кросс-корреляционной функции между наилучшим (по коэффициенту сигнал/шум) принятым ЛЧМ сигналом и номинальным его значением)	F16.7	LEA	Необработанные данные общего типа для радиолокатора	155-170	+720+1886 + x (x - значение длины записи с необработанными данными о положении платформы	1.1150000	выборки
73	Первый уровень боковых лепестков ККФ ЛЧМ сигнала	F16.7	LEA		171-186	+720+ +1886+ x	-9.9390000	дБ
74	Относительный уровень боковых лепестков ККФ ЛЧМ сигнала	F16.7	LEA		187-202	+720+ +1886+ x	-6.7790000	дБ

PolotskSU

Продолжение табл. А1 -Представление необработанных радиолокационных данных

№	Наименование параметра	Формат	Файл	Тип записи	№№ байт в записи	Поправка по порядку записи к № байт	Пример	Единица измерения
75	Степень достоверности среднего значения Доплеровской частоты	F16.7	LEA	Необработанные данные общего типа для радиолокатора	203-218	+720+ +1886+ x	0.0000000	
76	Степень достоверности неопределенности сдвига доплеровской частоты	F16.7	LEA		219-234	+720+ +1886+ x	0.0000000	
77	Среднее расчетное значение синфазных входных данных (применяется, если номинальное смещение равно 15.5)	F16.7	LEA		235-250	+720+ +1886+ x	-0.2380000	
78	Оценка среднего значения квадратурных входных данных (применяется, если номинальное смещение 15.5)	F16.7	LEA		251-266	+720+ +1886+ x	-0.0950000	
79	Среднеквадратическое отклонение синфазных входных данных	F16.7	LEA		267-282	+720+ +1886+ x	7.3580000	
80	Среднеквадратическое отклонение квадратурных входных данных	F16.7	LEA		283-298	+720+ +1886+ x	7.3160000	
81	Коэффициент усиления системы калибровки после обработки первой строки	F16.7	LEA		299-314	+720+ +1886+ x	11.0000000	
82	Коэффициент усиления приемника после обработки первой строки	F16.7	LEA		315-330	+720+ +1886+ x	15.0000000	
83	Количество неоднозначностей по доплеровской частоте	F16.7	LEA		331-346	+720+ +1886+ x	0.0000000	
84	Поправка для синфазного канала (добавляется к номинальному смещению)	F16.7	LEA		363-378	+720+ +1886+ x	0.2380000	

PolotskSU

Продолжение табл. А1 -Представление необработанных радиолокационных данных

№	Наименование параметра	Формат	Файл	Тип записи	№№ байт в записи	Поправка по порядку записи к № байт	Пример	Единица измерения
85	Поправка для квадратурного канала (суммируется с номинальным смещением)	F16.7	LEA	Необработанные данные общего типа для радиолокатора	379-394	+720+ +1886+ x	0.0950000	
86	Корректирующий коэффициент синфазного/квадратурного рассогласования каналов (для синфазного канала)	F16.7	LEA		395-410	+720+ +1886+ x	1.0000000	
87	Корректирующий коэффициент синфазного/квадратурного рассогласования каналов (для квадратурного канала)	F16.7	LEA		411-426	+720+ +1886+ x	1.0050000	
88	Корректировка неортогональности (для квадратурного канала)	F16.7	LEA		427-442	+720+ +1886+ x	-0.7740000	
89	Мощность шумов в выборке (не относится к VMP)	F16.7	LEA		459-474	+720+ +1886+ x	-9999999.9999999	
90	Задержка калибровочного импульса (не относится к VMP)	I16	LEA		475-490	+720+ +1886+ x	-9999999.9999999	нс
91	Количество допустимых калибровочных импульсов (ноль для VMP)	I4	LEA		491-494	+720+ +1886+ x	0	
92	Количество допустимых шумовых импульсов (ноль для VMP)	I4	LEA		495-498	+720+ +1886+ x	0	
93	Количество импульсов опорного сигнала	I4	LEA		499-502	+720+ +1886+ x	1	
94	Первый отсчет опорного сигнала (извлекается из ЛЧМ сигнала)	F16.7	LEA		503-518	+720+ +1886+ x	29.0000000	
95	Предполагаемая корректировка импульса (не относится к VMP)	F16.7	LEA		519-534	+720+ +1886+ x	-9999999.9999999	
96	Предполагаемая мощность шумового импульса (не относится к VMP)	F16.7	LEA		535-550	+720+ +1886+ x	-9999999.9999999	

PolotskSU

Продолжение табл. А1 -Представление необработанных радиолокационных данных

№	Наименование параметра	Формат	Файл	Тип записи	№№ байт в записи	Поправка по порядку записи к № байт	Пример	Единица измерения
97	Нормализующий фактор при сжатии по дальности	F16.7	LEA	Необработанные данные общего типа для радиолокатора	551-566	+720+ +1886+ x	12055352.0000000	
98	Мощность опорного сигнала	F16.7	LEA		567-582	+720+1886+ x	146922.0000000	
99	Угол падения для первой точки диапазона (в середине азимута)	F16.7	LEA		583-598	+720+ +1886+ x	19.4360000	градусы
100	Угол падения для средней точки диапазона (в середине азимута)	F16.7	LEA		599-614	+720+ +1886+ x	23.7960000	градусы
101	Угол падения для крайней точки диапазона (в середине азимута)	F16.7	LEA		615-630	+720+ +1886+ x	27.3090000	градусы
102	Опорная наклонная дальность (компенсация потерь в диапазоне распространения)	F16.7	LEA		631-646	+720+ +1886+ x	847.0000000	км
103	Флаг коррекции диаграммы направленности антенны (ноль если коррекция отсутствует)	I4	LEA		659-662	+720+ +1886+ x	0	
104	Дата и время получения первой линии необработанных данных	A24	LEA		817-840	+720+ +1886+ x	4-MAR-1999 9:57:21.536	
105	Пиковое значение ККФ между первым принятым ЛЧМ сигналом и номинальным	I4	LEA		1049-1052	+720+ +1886+ x	0029	выборки
106	Значение кросс-корреляционной функции между последним принятым ЛЧМ сигналом и номинальным его значением на уровне -3дБ	F16.7	LEA		1053-1068	+720+ +1886+ x	1.1150000	выборки
107	Уровень первого бокового лепестка кросс-корреляционной функции между последним ЛЧМ сигналом и номинальным	F16.7	LEA		1069-1084	+720+ +1886+ x	-10.0240000	дБ
108	Относительный уровень боковых лепестков кросс-корреляционной функции между последним ЛЧМ сигналом и номинальным	F16.7	LEA		1085-1100	+720+ +1886+ x	-6.8590000	дБ

PolotskSU

Продолжение табл. А1 -Представление необработанных радиолокационных данных

№	Наименование параметра	Формат	Файл	Тип записи	№№ байт в записи	Поправка по порядку записи к № байт	Пример	Единица измерения
109	Пиковое значение кросс-корреляционной функции между последним извлеченным ЛЧМ сигналом и номинальным	I4	LEA	Необработанные данные общего типа для радиолокатора	1101-1104	+720+ +1886+ x	0029	выборки
110	Количество выборок для анализа для каждой строки необработанных данных	I4	LEA		1125-1128	+720+ +1886+ x	1000	выборки
111	Анализ пропускной способности строк по дальности для необработанных данных	I4	LEA		1129-1132	+720+ +1886+ x	0010	линий
112	Дата ввода вектора состояния (UTC) при обработке изображения <дд-МММ-гггг чч:мм:сс.ттт>	A24	LEA		1133-1156	+720+ +1886+ x	04-MAR-1999 09:57:30.000	
113	Входной вектор состояния – вектор положения X	D22.15	LEA		1157-1178	+720+ +1886+ x	5.200375500000000e+06	м
114	Входной вектор состояния – вектор положения Y	D22.15	LEA		1179-1200	+720+ +1886+ x	1.453530500000000e+06	м
115	Входной вектор состояния – вектор положения Z	D22.15	LEA		1201-1222	+720+ +1886+ x	4.699765500000000e+06	м
116	Входной вектор состояния – вектор скорости X’	D22.15	LEA		1223-1244	+720+ +1886+ x	5.135316890000000e+03	м/с
117	Входной вектор состояния – вектор скорости Y’	D22.15	LEA		1245-1266	+720+ +1886+ x	-5.015669600000000e+02	м/с
118	Входной вектор состояния – вектор скорости Z’	D22.15	LEA		1267-1288	+720+ +1886+ x	-5.512644520000000e+03	м/с
119	Смещение времени запуска стробирующего импульса	I4	LEA		1457-1460	+720+ +1886+ x	6265	нс
120	Кубический коэффициент среднего значения доплеровской частоты	E22.15	LEA		1461-1482	+720+ +1886+ x	0.000000000000000e+00	
121	Кодирование частоты следования импульсов для первой линии по дальности	I4	LEA		1483-1486	+720+ +1886+ x	2820	

PolotskSU

Продолжение табл. А1 -Представление необработанных радиолокационных данных

№	Наименование параметра	Формат	Файл	Тип записи	№№ байт в записи	Поправка по порядку записи к № байт	Пример	Единица измерения
122	Кодирование частоты следования импульсов для последней линии по дальности	I4	LEA	Необработанные данные общего типа для радиолокатора	1487-1490	+720+ +1886+ x	2820	
123	Кодирование времени запуска стробирующего импульса для первой линии по дальности	I4	LEA		1491-1494	+720+ +1886+ x	0944	
124	Кодирование времени запуска стробирующего импульса для последней линии по дальности	I4	LEA		1495-1498	+720+ +1886+ x	0922	
125	Коэффициент усиления калибровочной системы при обработке последней линии	I4	LEA		1499-1502	+720+ +1886+ x	0011	
126	Коэффициент усиления приемника при обработке последней линии	I4	LEA		1503-1506	+720+ +1886+ x	0015	
127	Качественные пороговые значения ЛЧМ сигнала - ширина кросс-корреляционной функции ЛЧМ сигнала - первый боковой лепесток ЛЧМ кросс-корреляционной функции -относительный уровень боковых лепестков ЛЧМ кросс-корреляционной функции	3 F16.7	LEA		1531-1578	+720+ +1886+ x	 1.5000000 -8.5000000 -6.0000000	 Пиксели дБ дБ

PolotskSU

Продолжение табл. А1 -Представление необработанных радиолокационных данных

№	Наименование параметра	Формат	Файл	Тип записи	№№ байт в записи	Поправка по порядку записи к № байт	Пример	Единица измерения
128	Статистические пороговые значения входных данных - предполагаемые синфазные входные данные в части абсолютного максимума входных данных - предполагаемые квадратурные входные данные в части абсолютного максимума входных данных -среднеквадратическое отклонение синфазных входных данных в части абсолютного максимума входных данных -среднеквадратическое отклонение квадратурных входных данных в части абсолютного максимума входных данных	4 F16.7	LEA	Необработанные данные общего типа для радиолокатора	1579-1642	+720+ +1886+ x	0.1000000 0.1000000 0.2000000 0.2000000	
129	Количество необработанных входных строк (переменная величина)	I8	LEA		1519-1526	+720+ +1886+ x	00280000	
130		I6	DAT	Дескриптор записи	181-186	0	028000	
131		I8	DAT	Дескриптор записи	237-244	0	00028000	
132	Количество достоверных точек в строке по дальности	I4	LEA	Необработанные данные общего типа для радиолокатора	1723-1726	+720+1886 + x	5616	
133		I8	DAT		249-256	0	00005616	
134	Увеличение синфазно/квадратурного рассогласования – нижняя граница	F16.7	LEA		1731-1746	+720+ +1886+ x	0.9980000	
135	Увеличение синфазно/квадратурного рассогласования верхняя граница	F16.7	LEA		1747-1762		1.0010000	
136	Квадратическое отклонение синфазных и квадратурных составляющих– нижняя граница	F16.7	LEA		1763-1778		-2.6580000	Градусы
137	Квадратическое отклонение синфазных и квадратурных составляющих – верхняя граница	F16.7	LEA		1779-1794		1.1090000	градусы

PolotskSU

Продолжение табл. А1 -Представление необработанных радиолокационных данных

№	Наименование параметра	Формат	Файл	Тип записи	№№ байт в записи	Поправка по порядку записи к № байт	Пример	Единица измерения
138	Максимальная ошибка синхронизации по времени для строк дальности (нс)	I7	LEA	Необработанные данные общего типа для радиолокатора	1833-1838	+720+ +1886+ x	3346130	нс
139	Количество байт данных РСА (или пикселей) в записи (номинальное)	I8	DAT	Дескриптор записи	281-288	0	00011232	байт
	Первая выборка синфазных и квадратурных значений	B2	DAT	Параметры файла изображения (с учетом номера записи, или строки по азимуту)	413-414	+11 644 + номер записи умноженный на порядковый номер строки		
	Вторая выборка синфазных и квадратурных значений	B2	DAT	Параметры файла изображения (с учетом номера записи, или строки по азимуту)	415-416			
	k- я выборка синфазных и квадратурных значений	B2	DAT	Параметры файла изображения (с учетом номера записи, или строки по азимуту)	…….			
	Последняя выборка синфазных и квадратурных значений	B2	DAT	Параметры файла изображения (с учетом номера записи, или строки по азимуту)	11 613-11 614			

PolotskSU

ПРИЛОЖЕНИЕ Б

Перечень публикаций по заданию 1.1.11 за 2016-2018гг.

Статьи в журналах

1. Левощенко, В.Н. Устройство формирования цифровых диаграмм направленности / В.Н. Левощенко, В.Ф. Янушкевич // Вестник Полоцкого государственного университета, серия С. Фундаментальные науки. - 2016г. - №4. – с. 43-48

2. Чертков, В.М. Особенности структуры и формата представления радиолокационных данных спутником TerraSAR-X/ В.М. Чертков, Р.П. Богуш, Н.М. Наумович // Вестник Полоцкого государственного университета, серия С. Фундаментальные науки, 2017г. №4 – с. 21-27

3. Игнатьева, С.А. Фокусировка радиолокационных изображений с использованием пакета matlab/С.А. Игнатьева// Труды молодых специалистов ПГУ. Промышленность – 2017. – Вып.20(90) . – с.264-267

4. Богуш, Р.П. Моделирование алгоритмов обработки данных радиолокатора с синтезом апертуры космического аппарата для их передачи и формирования радиолокационного изображения/ Р.П. Богуш, В.М. Чертков, И.Ю. Захарова, Н.М. Наумович // Вестник Полоцкого государственного университета, серия С. Фундаментальные науки, 2018г. №12 – с. 2-8

Статьи в материалах конференций

5. Ivanou, M. Programming model side-looking synthetic aperture radar / M. Ivanou, A. Pronin // European and National Dimension in Research: materials of the VIII Junior Researchers' Conf., Novopolotsk, April 27-28, 2016 / Polotsk State University.-Novopolotsk, 2016 – V.3 - p.191-195

6. Chertkov, V. Application algorithm of radar image processing in third-party software / V. Y. Bogomolova // European and National Dimension in Research: materials of the VIII Junior Researchers' Conf., Novopolotsk, April 27-28, 2016 / Polotsk State University.-Novopolotsk, 2016 – V.3 - p.205-208

7. Игнатьева, С.А. Представление не фокусированных радиолокационных данных ДЗЗ на основе стандарта CEOS / С.А. Игнатьева, Р.П. Богуш, Н.М. Наумович// Современные средства связи: материалы XXI Междунар. науч.-техн. конф., 20–21 окт. 2016 года, Минск, Респ. Беларусь / редкол.: А. О. Зеневич [и др.]. – Минск: Белорусская государственная академия связи, 2016. – с.229-230

8. Богуш, Р.П. Структура и формат представления радиолокационных данных дистанционного зондирования Земли спутником TerraSAR-X / Р.П. Богуш, В.М. Чертков, Н.М. Наумович // Информатика: проблемы, методология, технологии. Материалы XVII Междун. конф., 9-10 февраля 2017 г. – Воронеж: Воронежский гос. ун-т, 2017. –Т.4 - с.8-13

9. Лукьянов А.О. Особенности представления радиолокационных данных группой спутников COSMO-SkyMed в формате HDF / А.О. Лукьянов, Р.П. Богуш // Информатика: проблемы, методология, технологии. Материалы XVII Междун. конф., 9-10 февраля 2017 г. – Воронеж: Воронежский гос. ун-т, 2017. –Т.4 - с. 42-47

10. Zakharava, I. Presentation of remote earth sensing by means of matlab in cosar format/ I. Zakharava, V. Chertkov//European and National Dimension In Research. Technology: Electronic collected materials of IX Junior Researchers' Conference, Novopolotsk, April 26–27, 2017 / Polotsk State University; ed. D. Lazouski [et al.]. – Novopolotsk, 2017. –1 CD-ROM. – p. 272-275

11. Chehovich, S. Simulation algorithm of radio holograms formation in a remote earth sensing system/ S. Chehovich, V. Yanushkevich //European and National Dimension In Research. Technology: Electronic collected materials of IX Junior Researchers' Conference, Novopolotsk, April 26–27, 2017 / Polotsk State University; ed. D. Lazouski [et al.]. – Novopolotsk, 2017. –1 CD-ROM. – p. 333-335

12. Stanovoy, A. Analysis methods of treatment incoherent radar images in remote sensing system based on filter speckle – noise/ A. Stanovoy, V. Yanushkevich //European and National Dimension In

Research. Technology: Electronic collected materials of IX Junior Researchers' Conference, Novopolotsk, April 26–27, 2017 / Polotsk State University; ed. D. Lazouski [et al.]. – Novopolotsk, 2017. – 1 CD-ROM. – p. 343-345

13. Захарова, И.Ю. Сжатие комплексных радиолокационных данных дистанционного зондирования Земли на основе блочного адаптивного квантования/ Р.П. Богуш, И.Ю. Захарова // Белорусско-Китайский молодежный инновационный форум «Новые горизонты – 2017»: Материалы форума: в 2 т., Минск, 02-03 ноября 2017года. – Минск: БНТУ, 2017. – Т.1.- с.24-26

14. Захарова, И.Ю. Моделирование пакетирования необработанных основных и вспомогательных данных РСА космического аппарата/ Захарова И.Ю., Богуш Р.П., Наумович Н. М. // Информатика: проблемы, методология, технологии. Материалы XVIII Междун. конф., 8-9 февраля 2018 г. – Воронеж: Воронежский гос. ун-т, 2018. –Т.5 - с.239-242

15. Zakharova,I. Synthetic aperture radars data formatting based on space packet protocol / I. Zakharava, R. Bohush // European and National Dimension in Research: materials of the X Junior Researchers' Conf., Novopolotsk, May 10-11, 2018 / Polotsk State University.-Novopolotsk, 2018 – p.237-240

16. Androshchuk, A. The usage of a system on a chip for the synthesis of radar / A. Androshchuk, A. Chertkov // European and National Dimension in Research: materials of the X Junior Researchers' Conf., Novopolotsk, May 10-11, 2018 / Polotsk State University.-Novopolotsk, 2018 – p.173-175

17. Stanovoy, A. Method of treating incoherent radar images in remote sensing system based on filtering speckle - noise/ A. Stanovoy, V. Yanushkevich // European and National Dimension in Research: materials of the X Junior Researchers' Conf., Novopolotsk, May 10-11, 2018 / Polotsk State University.-Novopolotsk, 2018 – p.337-338

18. Chehovich, S. Formation of images in a digital radar/ S. Chehovich, V. Yanushkevich // European and National Dimension in Research: materials of the X Junior Researchers' Conf., Novopolotsk, May 10-11, 2018 / Polotsk State University.-Novopolotsk, 2018 – p. 355-357

19. Пастухов, Ю.Ф. Квантование функции плотности нормального распределения в метрике квадратичного отклонения/ Ю.Ф. Пастухов, Д.Ф. Пастухов, Р.П. Богуш // Информационно-коммуникационные технологии: достижения, проблемы, инновации (ИКТ-2018) [Электронный ресурс]: электронный сборник статей I международной научно-практической конференции, посвященной 50-летию Полоцкого государственного университета, Новополоцк, 14–15 июня 2018г. / Полоцкий государственный университет. – Новополоцк, 2018, стр. 92-94

PolotskSU

PolotskSU

ПРИЛОЖЕНИЕ В

Список конференций, на которых представлялись результаты исследований

1. VIII Junior Researchers' Conf. European and National Dimension in Research, Novopolotsk, April 27-28, 2016, Polotsk State University, Belarus
2. XXI Междунар. науч.-техн. конференция «Современные средства связи», 20–21 октября 2016 года, Минск, Республика Беларусь
3. XVII Международная конференция «Информатика: проблемы, методология, технологии», 9-10 февраля 2016 г. Воронежский государственный университет, Россия
4. IX Junior Researchers' Conf. European and National Dimension in Research, Novopolotsk, April 26-27, 2017, Polotsk State University, Belarus
5. VII Белорусский космический конгресс, 24-26 октября 2017г., Минск, ОИПИ НАН Беларуси, Республика Беларусь
6. Белорусско-Китайский молодежный инновационный форум «Новые горизонты – 2017», 02-03 ноября 2017года, Минск, БНТУ, Республика Беларусь
7. XVIII Международная конференция «Информатика: проблемы, методология, технологии», 8-9 февраля 2018 г. Воронежский государственный университет
8. X Junior Researchers' Conf. European and National Dimension in Research, Novopolotsk, April May 10-11, 2018, Polotsk State University
9. Международная научно-практическая конференция «Информационно-коммуникационные технологии: достижения, проблемы, инновации», 14–15 июня 2018 г., Полоцкий государственный университет, Республика Беларусь

PolotskSU

ПРИЛОЖЕНИЕ Г

Акты внедрения результатов НИР

PolotskSU

«Утверждаю»
Проректор по научной работе
УО «ПГУ»

Глухов Д.О.
декабря 2018г.

АКТ

О внедрении результатов НИОКР в учебный процесс

Настоящий акт составлен об использовании в учебном процессе разработки,
Алгоритм сжатия данных на основе энтропийно-ограниченного блочного адаптивного квантования,
(наименование разработки, объекта внедрения)
выполненной по теме НИР
форматы и особенности представления основных и вспомогательных радиолокационных данных дистанционного зондирования земли космического радиолокатора с синтезированной апертурой X-диапазона» в рамках
«Исследования по формированию состава и форматов представления основных и вспомогательных радиолокационных данных дистанционного зондирования земли космического радиолокатора с синтезированной апертурой X-диапазона»
(заключительный),
№ госрегистрации 20160440, ГБ0916
(наименование НИР, номер госрегистрации, финансовый номер)

Разработка использована в учебном процессе кафедры вычислительных систем и сетей в 2018г.

Разработка используется при чтении лекций и проведении лабораторных работ по дисциплинам «Прикладная теория информации» для студентов первой ступени высшего образования специальности 1-400201 «Вычислительные машины, системы и сети», при чтении лекций по дисциплине «Теория информации» для студентов специальности 1-400101 «Программное обеспечение информационных технологий» и при выполнении магистерской диссертации второй ступени высшего образования специальности 1-408004 «Математическое моделирование, численные методы и комплекс программ».

Разработка позволяет студентам и магистрантам изучать современные алгоритмы сжатия данных без потери информации.

Описание объекта внедрения прилагается и является неотъемлемой частью Акта.

Начальник ОСНИ	Т.В. Гончарова
Декан факультета информационных технологий	С.Г. Ехилевский
Начальник учебно-методического отдела	Н.А. Борейко
Сотрудники, использовавшие разработку	Р.П. Богуш
	И.Ю. Захарова

PolotskSU

«УТВЕРЖДАЮ»
Проректор по научной работе
Полоцкого государственного
университета
_____ Д.О. Глухов
«___» декабря 2018г.

АКТ

О внедрении результатов НИОКР в учебный процесс

Настоящий акт составлен об использовании в учебном процессе разработки,
Модель обработки данных РСА космического аппарата для их передачи и восстановления,
(наименование разработки, объекта внедрения)
выполненной по теме НИР
«Форматы и особенности представления основных и вспомогательных радиолокационных данных дистанционного зондирования земли космического радиолокатора с синтезированной апертурой X-диапазона»
в рамках
«Исследования по формированию состава и форматов представления основных и вспомогательных радиолокационных данных дистанционного зондирования земли космического радиолокатора с синтезированной апертурой X-диапазона»
(заключительный),
№ госрегистрации 20160440, ГБ0916
(наименование НИР, номер госрегистрации, финансовый номер)

Разработка использована в учебном процессе кафедры энергетики и электроники в 2018г.

Разработка используется при чтении лекций и проведении лабораторных работ по дисциплинам «Теория кодирования информации», «Системы и сети передачи данных. Защита информации в компьютерных сетях» для студентов первой ступени высшего образования специальностей 1-39 01 01 «Радиотехника», и по дисциплинам «Цифровая обработка информации для систем телекоммуникаций», «Методы и устройства передачи информации в спутниковых системах связи» для магистрантов специальности 1-45 80 01 «Математическое моделирование, численные методы и комплекс программ».

Разработка позволяет студентам и магистрантам изучать методы и алгоритмы обработки данных РСА космического аппарата для их передачи и восстановления.

Описание объекта внедрения прилагается и является неотъемлемой частью Акта.

Начальник ОСНИ	Т.В. Гончарова
Заведующий кафедрой энергетики и электроники	Д.А. Антонович
Начальник учебно-методического отдела	Н.А. Борейко
Сотрудники, использовавшие разработку	В.М. Чертков
	В.Ф. Янушкевич