

Облик бортового вычислителя спутниковых РСА в задачах зондирования земной поверхности

В.В. Костров, А.В. Ракитин, С.Н. Жиганов

*Федеральное агентство по образованию Муромский институт (филиал)
ГОУ ВПО «Владимирский государственный университет»
602264, г.Муром, ул. Орловская, 23;
E-mail: s_zh_72@mail.ru*

В работе проведен расчет необходимых вычислительных затрат и скоростей обработки данных при формировании радиолокационного изображения на борту космического аппарата. Определены пути возможной реализации бортового вычислителя.

In work calculation of necessary computing expenses and speeds of processing of is gives this is carried out at formation of the radar-tracking image onboard a space vehicle. Ways of possible realisation of an airborne computer are defined.

Введение

Повышение требований к качеству изображений в традиционных областях применения спутниковой информации радиолокаторов с синтезированной апертурой (РСА) (картография, предотвращение и ликвидация последствий чрезвычайных ситуаций, разведка нефтегазовых месторождений, экологический мониторинг, контроль зон судоходства и рыбного промысла, ледовая разведка, сельское хозяйство, военные задачи и др.) постоянно стимулируют совершенствование применяемой аппаратуры. Разрешающая способность радиолокационных изображений (РЛИ), формируемых современными РСА составляет значения менее 1 м, что сопоставимо с разрешением снимков, получаемыми при помощи средств дистанционного зондирования (ДЗЗ) оптического и инфракрасного диапазонов. Наименьшее значение разрешения около 10 сантиметров удалось реализовать в бортовой аппаратуре РСА космического аппарата (КА) «Израильской аэрокосмической компании» ТЕХСАР.

Вместе с тем развитию систем с РСА способствует активное развитие ГИС-технологий, применяемых разнообразными ресурсами Интернет, таких как Google Earth/Maps, Yahoo Maps, MS Virtual Earth, Яндекс Карты, New Kosmosnimki и подобными. При этом потребитель стремится получить информацию в готовом виде с минимальными расходами на ее доставку в канале «КА – пункт приема». Решение этой задачи приводит к перераспределению функций по обработке РЛИ на КА и в пункте приема в сторону увеличения объема алгоритмов получения, предварительной обработки, преобразования данных, реализуемых в бортовых вычислителях РСА, и максимальной автоматизации процессов цифровой обработки изображений.

Применение зондирующих сигналов с двумя видами поляризации существенно повышает информативность РСА, что облегчает классификацию обнаруженных объектов, а также появляется возможность уменьшить интенсивность спекл-шума.

Таким образом, увеличение количества бортовых РСА, улучшение их разрешающей способности и других характеристик системы землеобзора, увеличение количества решаемых ею задач, работа в реальном масштабе времени приводит к изменению качественного состава потоков цифровой информации на борту КА и к их существенному увеличению. В связи с этим возникает необходимость решения вопросов построения высокоскоростного бортового вычислителя для эффективной обработки получаемой радиолокационной информации.

Целью представленной работы является построение возможной архитектуры бортового вычислителя КА на основе оценочных расчетов необходимого объема вычислений, потоков данных и объема памяти блока цифровой обработки сигналов (ЦОС) РСА.

1 Расчет производительности бортового вычислителя, объемов памяти и потоков данных

Рассмотрим основные этапы цифровой обработки информации на борту КА и оценим их объем. Расчеты будем проводить для РСА бокового обзора [2], работающего в наиболее сложном с точки зрения обработки информации режиме. Характеристики режимов работы гипотетической РСА следующие: высота орбиты КА – 225 км, угол сканирования – 17° , полоса сканирования – 10 км, длина волны – 10 см. Для получения малого разрешения по дальности в системе используется импульсный широкополосный зондирующий сигнал с базой в 10 000, период следования сигналов – 2 мс, разрешение по дальности и по азимуту – 1 м. При таком разрешении количество элементов в одной полоске дальности равно 10 000, а время синтеза апертуры составляет 2с.

На рис. 1 приведена укрупненная схема блока ЦОС современных цифровых РСА [2]. Цифровая обработка начинается с получения квадратурных составляющих эхосигнала с выхода АЦП и записи их в буферный регистратор. Для того, чтобы получить 20 000 элементов по дальности при базе сигнала 10 000 и 10 разрядах представления одного квадратурного отсчета сигнала необходим объем памяти буферного регистратора в $4 \cdot 10^6$ бит для одной полоски дальности.

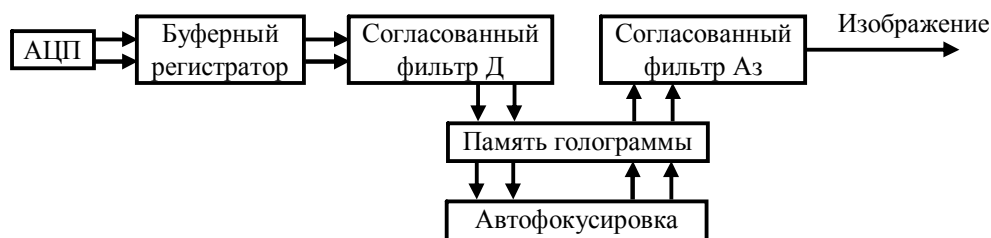


Рис. 1. Структурная схема ЦОС РСА

На первом этапе ЦОС происходит сжатие или согласованная фильтрация принимаемых сигналов в согласованном фильтре по дальности (рис. 1). На вход фильтра поступают из буферного регистратора 20 000 10-ти разрядных слов за период следования зондирующего сигнала в 2 мс. Входной поток при этом составляет $20\,000 \cdot 10 / 0,002 = 10^8$ бит в секунду. На выходе этого устройства формируются два квадратурных 15-ти разрядных отсчета траекторного сигнала со скоростью $2 \cdot 10\,000 \cdot 10 / 0,002 = 10^8$ бит в секунду. Вычислительные затраты на сжатие эхо-сигнала составляют примерно $3 \cdot 10^{11}$ операций в секунду.

Для синтеза одной полоски РЛИ при заданном значении разрешающей способности по азимуту необходима голограмма, состоящая из 1 000 полосок дальности в 10 000 10-ти разрядных квадратурных отсчетов сжатых сигналов. Необходимый объем памяти для хранения формируемой голограммы составляет $1\,000 \cdot 10\,000 \cdot 10 \cdot 2 = 2 \cdot 10^8$ бит, что и реализуется в устройстве памяти голограммы (рис. 1).

Поскольку время формирования голограммы достаточно большое, то при получении РЛИ на выходе согласованного фильтра по азимуту (рис.1), оно становится размытым, вследствие появления фазовой ошибки между отсчетами траекторного сигнала. Для устранения фазовой ошибки в современных РСА используются устройства автофокусировки изображения. Одним из широко распространенных алгоритмов автофокусировки является фазоразностный алгоритм. На вход фазоразностного устройства вы-

числения фазовой ошибки поступают квадратурные отсчеты траекторного сигнала. Входной поток при этом составляет $10\,000 \cdot 1\,000 \cdot 2/0,002 = 10^{10}$ бит в секунду. На выходе устройства формируются значения фазовой ошибки – одно 10-ти разрядное число за 2 мс, выходной поток составляет 5000 бит в секунду. Объем вычислений для реализации данного алгоритма составляет порядка $5 \cdot 10^{10}$ операций в секунду.

На последнем третьем этапе обработки синтезируется апертура или формируется одна полоска РЛИ – из 1000 отсчетов траекторного сигнала формируется один 20-ти разрядный отсчет РЛИ с учетом значения фазовой ошибки. Входной поток данных складывается из выходного потока с согласованного фильтра по дальности и выходного потока с устройства вычисления фазовой ошибки и составляет 10^{10} плюс 5000 бит в секунду. Выходной поток устройства синтеза апертуры составляет $10\,000 \cdot 20/0,002 = 10^8$ бит в секунду. Для реализации алгоритма синтеза апертуры необходимо около $2 \cdot 10^{11}$ операций в секунду.

Суммарные вычислительные затраты бортового блока ЦОС на получение одной строки РЛИ в реальном масштабе времени составляют $3 \cdot 10^{11} + 5 \cdot 10^{10} + 2 \cdot 10^{11} \approx 5,5 \cdot 10^{11}$ операций в секунду.

Если на борту КА работают два локатора для проведения интерферометрических измерений, либо происходит накопление изображений, полученных от четырех поляризационных каналов, то полученные значения вычислительных затрат на реализацию алгоритмов обработки возрастают в два и четыре раза соответственно.

2 Возможные пути реализации бортового вычислителя

Полученные высокие требования к вычислительной мощности и объемам требуемой памяти в значительной степени усложняют разработку бортового вычислителя. Традиционно используемая потоковая структура, в которой входной информационный поток поступает непосредственно на единый вычислительный узел, где происходит его обработка и последующая передача на исполнительные/передающие устройства, помимо существенных ограничений по наращиванию производительности обладает целым рядом других серьезных недостатков. К ним можно отнести: необходимость синхронизации потоков данных и управления, неоднородность шин передачи информации различного типа, невозможность изменения маршрутов движения информационных потоков, значительные трудности при реконфигурации устройства и резервировании. Некоторое снижение требований к вычислительной мощности бортового вычислителя при заданных исходных характеристиках РСА может быть достигнуто за счет применения эффективных в вычислительном отношении алгоритмов обработки траекторного сигнала, в частности, алгоритмов формирования РЛИ на основе многоскоростной обработки сигналов [3]. Другим эффектом применения многоскоростной обработки сигналов является многократное снижение требуемой памяти весовых коэффициентов в режиме фокусированного синтезирования апертуры [3]. Однако, подобные приемы не могут устранить указанные недостатки традиционной структуры вычислителя, а ограниченная номенклатура высокопроизводительной радиационно-стойкой элементной базы, способной обеспечить в полном объеме требуемые характеристики, делают задачу по построению бортового вычислителя практически невыполнимой.

Для решения поставленной задачи необходимо применение других архитектурных решений. В качестве возможного варианта построения бортового вычислителя РСА предлагается решение, выполненное на основе перспективной технологии SpaceWire [4]. Технология SpaceWire предназначена для использования в областях встроенных распределенных, параллельных информационно-вычислительных и управляющих комплексов, работающих в реальном времени. Технологию отличают высокие скорости передачи информации (до 400 Мбит/с), малые задержки доставки сообщений, устойчи-

потоков, унификация вычислительных модулей, возможность распределения ресурсов, принципиально иной подход к резервированию. Указанные особенности позволяют в значительной степени повысить качественные характеристики и возможности бортового вычислителя.

Широкие возможности масштабирования такой архитектуры позволяют получить практически любые вычислительную мощность и объемы памяти, ограничение возникает лишь по массогабаритным показателям. Использование в качестве вычислителей однотипных вычислительных модулей позволит значительно упростить построение системы, облегчить управление, а также уменьшить ее стоимость в целом.

С точки зрения построения программного обеспечения, для такой архитектуры возможно применение кластерных решений и технологий. При этом в качестве узла кластера может выделяться либо набор вычислителей, либо отдельный вычислитель или даже отдельная связка микропроцессор/память в отдельном вычислителе. Это открывает значительные возможности по наращиванию функциональности программного обеспечения, в которую будут входить решения вопросов разделения ресурсов, реконфигурируемости и резервирования системы. В частности, реконфигурируемость в такой системе осуществляется лишь сменой маршрутов движения информационных потоков и сменой алгоритмов работы вычислительных модулей, без затрагивания аппаратной части изделия. Резервирование осуществляется путем введения некоторого количества дополнительных вычислительных модулей с последующими программным определением состояния модулей, исключением неисправного модуля из вычислительного процесса в случае обнаружения сбоя, перераспределением задач и информационных потоков. В последствии возможны проведение перезагрузки неисправного модуля и повторный его ввод в вычислительный процесс.

В качестве элементной базы для построения бортового вычислителя могут быть использованы отечественные СБИС производства компании ГУП НПЦ "ЭЛВИС" серии «МУЛЬТИБОРТ» [4]. Была проведена оценка массогабаритных параметров вычислителя с учетом перспективы развития элементной базы серии «МУЛЬТИБОРТ» на 2015 год. Оценка показывает, что для реализации вычислителя, обладающего заданными характеристиками, потребуется порядка 20 четырехпроцессорных вычислительных модулей, общая масса которых в конструктиве 6U составит порядка 15 кг, а энергопотребление – порядка 900 Вт.

Заключение

В работе рассмотрены возможные пути реализации бортового вычислителя современной гипотетической РСА с актуальными на данный момент характеристиками. Наиболее перспективной технологией является SpaceWire.

Литература

1. Верба В.С. Обнаружение наземных объектов. Радиолокационные системы обнаружения и наведения воздушного базирования. – М.: Радиотехника, 2007. – 360 с.
2. Кондратенков Г.С., Фролов А.Ю. Радиовидение. Радиолокационные системы дистанционного зондирования Земли. – М.: Радиотехника, 2005. – 312 с.
3. Витязев В.В., Колодько Г.Н. Многоскоростная обработка сигналов в задачах радиовидения // Цифровая обработка сигналов и ее применение – DSPA'2007 / Доклады 9-й Международной конференции и выставки, 28-30 марта 2007. г. Москва. – М.: РНТО РЭС им. А.С.Попова. – С.254-258.
4. Шейнин Ю., Солохина Т., Петричкович Я. Технология SpaceWire для параллельных систем и бортовых распределенных комплексов//Электроника: НТБ. 2006. №5. С.64-75.