

УДК 004.75, 004.272, 528.72, 528.8 DOI 10.30894/issn2409-0239.2018.5.3.29.38

Технологические и программные модели формирования базовых продуктов ДЗЗ

А. Н. Марков, *nova@ntsomz.ru*

АО «Российские космические системы», Москва, Российская Федерация

А. И. Васильев, *к. ф.-м. н., nova@ntsomz.ru*

АО «Российские космические системы», Москва, Российская Федерация

Д. В. Степанова, *nova@ntsomz.ru*

АО «Российские космические системы», Москва, Российская Федерация

М. А. Евлашкин, *nova@ntsomz.ru*

АО «Российские космические системы», Москва, Российская Федерация

А. В. Крылов, *nova@ntsomz.ru*

АО «Российские космические системы», Москва, Российская Федерация

Б. Б. Салимонов, *nova@ntsomz.ru*

АО «Российские космические системы», Москва, Российская Федерация

Аннотация. В статье рассматриваются технологические модели формирования базовых продуктов по данным российских космических систем ДЗЗ типа «Метеор-М», «Канопус-В», «Ресурс-П», включая особенности интеграции с наземным комплексом приема, обработки, хранения и распространения космической информации (НКПОР) Оператора космических систем дистанционного зондирования Земли. Демонстрируется целесообразность и перспективность применения технологии GPGPU в связи с необходимостью формирования стандартных базовых продуктов по данным НКПОР уровня 0 SEOS. Рассматриваются технологические модели формирования тематических базовых продуктов: одноэтапный и многоэтапный технологические контуры. Обоснованы преимущества каждого из подходов. Представлена модель управления технологиями формирования базовых продуктов, реализованная в виде программного каркаса.

Приведены особенности специализации технологических моделей под аппаратно-технологическую инфраструктуру: фрагментирование системы хранения данных на различные RAID-группы, обеспечивающие операционные процессы формирования и аккумуляции базовых продуктов; применение типовых вычислительных узлов формирования базовых продуктов.

Вычислительные возможности системы сконфигурированы в обеспечение формирования стандартных базовых продуктов — более 500 Гбайт в сутки (по данным КМСС КА «Метеор-М» и ПСС/МСС КА «Канопус-В»). Определены вычислительные возможности системы по формированию тематических базовых продуктов — более 4 Тбайт в сутки (на примере обработки данных КМСС КА «Метеор-М»).

Ключевые слова: банк базовых продуктов, стандартный базовый продукт, тематический базовый продукт, потоковая обработка данных ДЗЗ, технологическая модель формирования базовых продуктов, GPGPU, программный каркас управления технологиями формирования базовых продуктов

Technological and Program Models of Remote Sensing Basic Products Formation

A. N. Markov, *nova@ntsomz.ru*

Joint Stock Company “Russian Space Systems”, Moscow, Russian Federation

A. I. Vasilyev, *Cand. Sci. (Phys.-Math.)*, *nova@ntsomz.ru*

Joint Stock Company “Russian Space Systems”, Moscow, Russian Federation

D. V. Stepanova, *nova@ntsomz.ru*

Joint Stock Company “Russian Space Systems”, Moscow, Russian Federation

M. A. Evlashkin, *nova@ntsomz.ru*

Joint Stock Company “Russian Space Systems”, Moscow, Russian Federation

A. V. Krylov, *nova@ntsomz.ru*

Joint Stock Company “Russian Space Systems”, Moscow, Russian Federation

B. B. Salimonov, *nova@ntsomz.ru*

Joint Stock Company “Russian Space Systems”, Moscow, Russian Federation

Abstract. Technological models of remote sensing basic products (BP) formation based on data from Russian remote sensing space systems Meteor-M, Kanopus-V, Resurs-P are considered in the paper. The paper also encompasses the particularities of integration with the ground-based complex of satellite information acquisition, processing, archiving and distribution (NKPOR) of the Operator of Russian remote sensing space systems. The practicability and potential of GPGPU technology application are demonstrated in connection with the need of standard (CEOS Level 0) basic product formation to be based on NKPOR data. The following technological models of thematic BP formation are considered: one-stage and multiple-stage technological contours. The advantages of each technological contour are validated. A management model for BP formation technologies is presented and implemented as a program framework.

The specific features of specializing technological models for a hardware-technological infrastructure include the following: data storage system fragmentation into various RAID-groups ensuring operational processes of BP formation and accumulation; application of typical computing nodes for BP formation. System computational possibilities are configured to provide standard BP formation — more than 500 GB per day (based on Meteor-M KMSS and Kanopus-V PSS/MSS data). The system computational possibilities for thematic BP formation are estimated — more than 4 TB per day (based on example KMSS Meteor-M data processing).

Keywords: basic products bank, standard basic product, thematic basic product, remote sensing dataflow processing, technological model of basic products formation, GPGPU, program framework for management of basic products formation technologies

Введение

Технологии обработки данных дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ) наземного комплекса приема, обработки, хранения и распространения космической информации (НКПОР) Оператора космических систем дистанционного зондирования Земли (КС ДЗЗ) в части формирования информационных продуктов (ИП) уровня 1С/1D CEOS являются преимущественно автоматизированными. Такой подход обусловлен необходимостью обработки потенциально любых данных, полученных в том числе при условиях съемки, непригодных для автоматической обработки в силу конструктивных особенностей съемочной аппаратуры (например, для данных «Канопус-В» перепад высот более 1 км наблюдаемой местности не позволяет выполнить синтез спектральных каналов «строгими» методами) либо при нештатной работе бортовой аппаратуры.

Под технологиями потоковой обработки данных ДЗЗ будем понимать совокупность алгоритмического и программного обеспечения автоматического формирования информационных продуктов ДЗЗ, специализированную под заданную аппаратно-технологическую инфраструктуру. В работе [1] рассматривается геоинформационный сервис «Банк базовых продуктов» (ГС ББП), предназначенный для обеспечения федеральных и региональных органов исполнительной власти Российской Федерации базовыми продуктами, формируемыми по данным российских и зарубежных КС ДЗЗ на основе технологий потоковой обработки данных ДЗЗ. Обобщенная модель сервиса рассмотрена в работе [2] и представляет собой асинхронную схему, включающую этапы регистрации заказа по средствам веб-интерфейса, формирование информационных продуктов выбранных сцен заказа, а также предоставление сформированного заказа для скачивания с использованием сети Интернет по протоколу HTTP. Особенности реализации приведенной схемы описаны в работе [3], включая программные компоненты администрирования ресурсами и потоковой обработки данных ДЗЗ, аппаратное обеспечение вычислительной системы и др.

В рамках настоящей статьи рассматриваются взаимодействие НКПОР Оператора КС ДЗЗ и ГС ББП в части построения технологий потокового

формирования ИП ДЗЗ уровня 1С/1D CEOS, пригодных для создания базовых продуктов в автоматическом режиме. Алгоритмическое обеспечение этих технологий частично рассмотрено в работах [4–7]. Кроме того, в статье приводится модель унифицированного программного каркаса управления технологиями потоковой обработки данных ДЗЗ, применяемыми в том числе для технологий ГС ББП.

Виды базовых продуктов ДЗЗ

В работе [2] введены понятия первичного и вторичного базового продукта. Уточним эти понятия с учетом специфики обработки информации ДЗЗ в НКПОР и специфики обработки информации ДЗЗ в ГС ББП, а также расширения номенклатуры базовых продуктов.

Стандартные первичные продукты (СПП) — данные после первичной обработки, прошедшие первичные радиометрическую и геометрическую коррекции, географически привязанные, трансформированные на среднюю плоскость либо с использованием цифровой модели рельефа. Как правило, СПП распространяются НКПОР российских КС ДЗЗ.

Стандартные базовые продукты (СБП) — данные после первичной либо стандартной первичной обработки, прошедшие входной контроль, точную географическую привязку по орбитальным данным (и/или с использованием опорной информации), точную радиометрическую коррекцию (при необходимости кросс-калибровку по опорным спутниковым данным), атмосферную коррекцию, представленные в унифицированном формате, необходимом для потокового создания тематических базовых продуктов. Такие данные сопоставимы для разных моментов наблюдения и разных приборов одного класса. Являются уточнением первичного базового продукта ДЗЗ [2].

Тематические базовые продукты (ТБП) — данные, полученные в результате потоковой обработки стандартных базовых продуктов, содержащие наборы восстановленных по данным ДЗЗ геофизических параметров наблюдаемых объектов или явлений, их интегральные характеристики в виде спектральных индексов, а также данные в виде композитных изображений, включая бесшовные

сплошные покрытия, формируемых на основе разновременных наблюдений. Являются расширением понятия вторичного базового продукта ДЗЗ [2].

На рис. 1 приведена обобщенная технологическая модель формирования базовых продуктов, включающая непосредственно ГС ББП, в рамках которой формируются ТБП на основе СБП, а также стек технологий интеграции ГС ББП и НКПОР Оператора КС ДЗЗ.

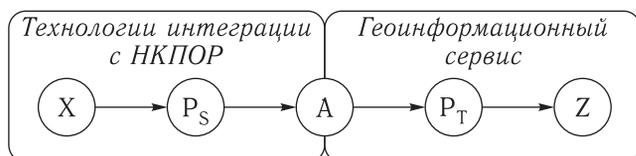


Рис. 1. Обобщенная технологическая модель формирования базовых продуктов ГС ББП: X — НКПОР Оператора КС ДЗЗ, P_S — входной контроль СПП и формирование СБП, A — архив и каталог СБП, P_T — формирование ТБП, Z — средства распространения сформированных ТБП, стрелки — направления движения данных ДЗЗ

В соответствии с приведенной моделью возможность формирования ТБП обуславливается этапом входного контроля СПП и последующего формирования СБП. Как следствие, СБП соответствуют подмножеству СПП. Невозможность применения всего множества СПП для формирования ТБП на основе отечественных данных компенсируется использованием данных зарубежных КС ДЗЗ (получаемых из открытых источников). В табл. 1 приведено соответствие приведенных ИП ДЗЗ уровням обработки CEOS, а также множеству данных ДЗЗ.

Таблица 1. Соответствие ИП ДЗЗ уровням обработки CEOS, а также множеству данных ДЗЗ, используемых для формирования соответствующих ИП

ИП ДЗЗ	Уровень CEOS	Данные ДЗЗ
СПП	0-1D	Российские (все множество)
СБП	1A-1D	Российские (подмножество), зарубежные
ТБП	2A и выше	Российские (подмножество), зарубежные

Технологические модели формирования СБП

Рассмотрим технологические особенности формирования СБП с использованием данных от различных съемочных систем отечественных КА ДЗЗ и на основе СПП различных уровней обработки.

1. Технологическая модель формирования СБП по данным КА «Канопус-В»

В НКПОР предусмотрена регламентированная обработка данных ПСС/МСС КА «Канопус-В» до уровня 1D CEOS, при этом относительная радиометрия, синтез спектральных каналов и геоференцирование, включая контроль их качества, реализуются оператором в автоматизированном режиме. Входной контроль ГС ББП для этих данных заключается в каскадной фильтрации по критериям полноты данных и метаданных (углов визирования, Солнца, географических координат и др.). Дополнительно в рамках входного контроля реализуется фрагментирование данных маршрута на условные кадры (с перекрытием 5–10%), формирование маски качества кадров (фрагментов маршрута), автоматическая оценка облачности (на основе эвристик), формирование пакета метаданных, включая построение обзорных изображений кадров, а также конвертация полноразмерных растровых данных в формат хранения ГС ББП.

Таким образом, с учетом автоматизированной обработки (с участием оператора) данных ПСС/МСС КА «Канопус-В» до уровня 1D CEOS, а также незначительных ежесуточных объемов выходной продукции (около 150 Гбайт) для вычислительно несложных задач входного контроля в данном случае применима модель линейного конвейера (см. рис. 2). Дополнительная оптимизация под вычислительные ресурсы сервера достигается

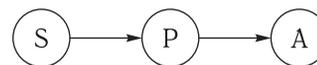


Рис. 2. Модель линейного конвейера соответствует технологии формирования СБП по данным ПСС/МСС КА «Канопус-В» уровня обработки 1D CEOS: S — буфер НКПОР, A — архив и каталог ГС ББП, P — узел обработки; стрелки определяют направление движения данных

применением технологии OpenMP, в частности при выполнении задач конвертации в заданную проекцию.

2. Технологическая модель формирования СБП по данным КМСС КА «Метеор-М»

Для данных КМСС КА «Метеор-М», в рамках НКПОР работает штатная технология автоматической обработки данных до уровня 1В СЕОС [8], при этом в ходе обработки обеспечивается фрагментация маршрутов на условные кадры («гранулы» в соответствии с терминологией [8]). В данном случае входной контроль, помимо каскадной фильтрации (аналогичной обработке данных КА «Канопус-В»), дополнительно включает оценку качества радиометрии и синтеза спектральных каналов, а также оценку точности навигационных данных. Кроме того, выполняется расчет параметров RPC (коэффициенты рациональных полиномов), трансформирование данных в картографическую проекцию (в формате СБП), оценка облачности, а также формирование маски качества и пакета метаданных, включая обзорные изображения.

Потоковое формирование СПП уровня обработки 1В СЕОС в НКПОР (до 150 Гбайт в сутки) в совокупности с вычислительно-сложными процедурами входного контроля данных КМСС КА «Метеор-М» (в частности, задачи ортотрансформирования) обуславливают применение подходов к распараллеливанию, например на основе модели master-slave (см. рис. 3). В соответствии с этой моделью master обеспечивает распределение данных по потокам (или вычислительным узлам) обработки данных (slave). Опционально каждый slave задействует заданное количество вычислительных ядер сервера (с целью применения технологии OpenMP для задачи трансформирования).

3. Технологическая модель формирования СБП по данным ШМСА-ВР КА «Ресурс-П»

Технологии НКПОР Оператора КС ДЗЗ не предусматривают потоковое формирование СПП по данным ШМСА-ВР КА «Ресурс-П» в автоматическом режиме. СПП формируются по заявкам потребителей на заданную область интереса в автоматизированном режиме (с участием оператора),

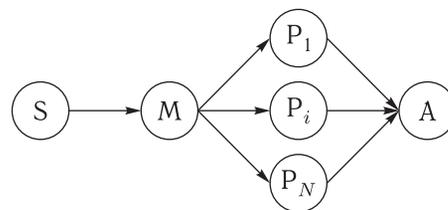


Рис. 3. Модель распараллеливания master-slave соответствует технологии формирования СБП по данным КМСС КА «Метеор-М» уровня обработки 1В СЕОС: S — источник (буфер НКПОР), А — архив и каталог ГС ББП, М — узел распределения данных по узлам обработки P_i ; стрелки определяют направление движения данных

в частности в обеспечение контроля качества формируемых информационных продуктов. Таким образом, в рамках входного контроля выполняется автоматическое формирование СБП уровня 1С/1D СЕОС на основе СПП уровня 0 СЕОС. Более подробно особенности обработки данных ШМСА-ВР КА «Ресурс-П» рассмотрены в работе [7], включая специализацию алгоритмов обработки под графические процессоры общего назначения (GPU).

Применения технологий вычисления на графических процессорах (GPGPU) для задач обработки данных ДЗЗ, например проецирования в заданную картографическую проекцию, ортотрансформирования, поиска опорных и связующих точек и др., обуславливают предельную производительность в силу соответствия матричной модели данных ДЗЗ SIMD-модели параллельной обработки данных GPU. Результаты тестирования аппаратного обеспечения и технологий параллельной обработки на примере задачи ортотрансформирования данных Геотон-Л1 КА «Ресурс-П» приведены в табл. 2.

Таким образом, применение технологии GPGPU позволяет использовать простые модели бизнес-процессов типа линейный конвейер (см. рис. 2) для формирования СБП по данным ШМСА-ВР КА «Ресурс-П». Более того, с учетом вычислительных возможностей GPU (см. табл. 2) в целом целесообразна специализация технологий формирования СБП под GPGPU, за счет чего возможна обработка данных со скоростью, соответствующей современным (на 2018 г.) дисковым SSD-системам (300–500 Мбайт/с) в обеспечение

Таблица 2. Результаты тестирования технологий параллельной обработки и аппаратного обеспечения (на примере задачи ортотрансформирования данных Геотон-Л1 КА «Ресурс-П»)

Конфигурация	Технология	Производительность, Мбайт/с
Intel i7-4820K CPUx4 HTT(x2)	OpenMP	12
Intel i7-4820K CPUx4 HTT(x2)	OpenCL	30
Xeon E5-2670 v2 CPUx10 (2 шт.)	OpenMP	44
Xeon E5-2670 v2 CPUx10 (2 шт.)	OpenCL	96
NVidia GeForce GTX 760	OpenCL/CUDA	140
NVidia Tesla K40c	OpenCL/CUDA	349

оперативности предоставления базовых продуктов потребителям. Существенным ограничением использования технологии GPGPU остается необходимость специальной оптимизации отдельных алгоритмов под архитектуру GPU (примеры такой оптимизации приведены в [9, 10]).

Технологические модели формирования ТБП

ГС ББП предусматривает две возможных технологических модели формирования ТБП: 1) одноэтапная схема формирования множества пакетов выходной продукции для выбранных потребителем сцен; 2) многоэтапная схема формирования единого пакета выходной продукции для выбранных потребителем сцен.

1. Одноэтапная модель. Данный подход является тривиальным и предусматривает одноэтапную схему обработки — формирование ТБП в виде независимого пакета выходной продукции для каждой сцены заказа потребителя. На рис. 4 приведен соответствующий граф: A — архив СБП, P_i — узел формирования всего возможного множества ТБП для соответствующей i -й сцены, Z — буфер выходной распространяемой продукции.

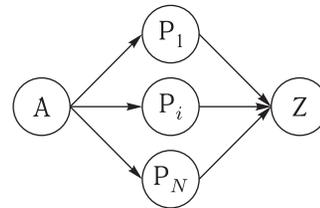


Рис. 4. Одноэтапная модель формирования ТБП: A — архив СБП, P_i — узел формирования всего возможного множества ТБП для соответствующей i -й сцены заказа, Z — буфер выходной распространяемой продукции

Эта модель находит применение при условии возможности формирования всего множества ТБП на любом из узлов, в частности при вырезании области интереса (на основе *shp*-файлов, представленных потребителями) для СБП, при расчете вегетационных индексов и др. При наличии множества узлов, обеспечивающих возможность формирования ТБП только для специализированных условий, например аппаратного либо общесистемного обеспечения, такая модель недопустима.

2. Многоэтапная модель. Данный подход предусматривает (на 2018 г.) трехэтапную схему обработки — формирование ТБП в виде единого пакета выходной продукции для всего множества сцен заказа потребителя. На рис. 5 приведен соответствующий граф: A — архив СБП, B_P — подготовка выбранных СБП к обработке, P_i — специализированный узел формирования заданного возможного множества ТБП для соответствующей i -й сцены, B_R — формирование единого пакета ТБП заказа, Z — буфер выходной распространяемой продукции

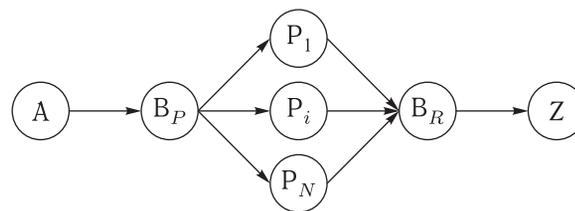


Рис. 5. Многоэтапная модель формирования ТБП: A — архив СБП, B_P — подготовка выбранных СБП к обработке, P_i — специализированный узел формирования заданного возможного множества ТБП для соответствующей i -й сцены, B_R — формирование единого пакета ТБП заказа, Z — буфер выходной распространяемой продукции

ТБП заказа, Z — буфер выходной распространяемой продукции.

Эта модель учитывает ограничения одноэтапной схемы и в общем случае может предусматривать каскадную модель обработки (данные могут быть обработаны последовательно на различных узлах обработки, узлы ВР и ВR в данном случае выступают в качестве промежуточных буферов-агрегаторов), соответствующую программной модели Map-Reduce.

Программный каркас управления технологиями формирования БП

В обеспечение унификации управления технологическими моделями предлагается специализированный программный каркас. В основу этого программного каркаса легли решения компонента администрирования ресурсами, приведенного в работе [3] и доработанные в части более универсальной и гибкой конфигурации сценариев, разработанных на основе технологических моделей формирования БП.

Программная модель каркаса представляет собой иерархическую трехуровневую сеть (см. рис. 6):

- верхний уровень обеспечивает инициацию и диспетчеризацию заказов в зависимости от типа сценария, отказоустойчивость и балансировку путем распределения заказов по типовым структурным компонентам каркаса среднего уровня;
- средний уровень обеспечивает декомпозицию сценариев заказов на элементарные задачи, распределение и назначение элементарных задач сценария соответствующим типовым структурным компонентам каркаса низкого уровня;
- низкий уровень обеспечивает мониторинг вычислительных ресурсов и выполнение элементарных задач технологических сценариев, в том числе обмен полноразмерными данными между вычислительными узлами.

На рис. 7 приведена модель управления технологическими контурами формирования СБП, в соответствии с которой компонента типа D развернута на узле М, обеспечивающем мониторинг СПП в буфере НКПОР. В данном случае распределение

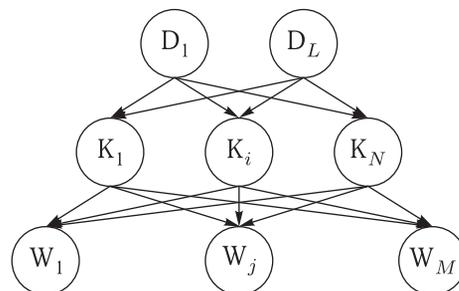


Рис. 6. Трехуровневая модель управления технологиями формирования БП: D, K, W — структурные компоненты верхнего, среднего и нижнего уровней соответственно. Стрелками показаны возможные направления управляющих команд программного каркаса

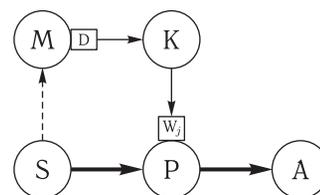


Рис. 7. Модель управления технологическим контуром формирования СБП: компонент K развернут на отдельном узле, компонент D развернут на узле М (мониторинга СПП НКПОР), низкоуровневые компоненты W развернуты на вычислительных узлах Р. Обычные стрелки — управляющие команды программного каркаса, толстые стрелки — направление движения данных ДЗЗ, пунктирные стрелки — направление движения метаданных СПП

СПП по вычислительным узлам Р осуществляется на уровне компонента К. На рис. 8 приведена модель управления технологическими контурами формирования ТБП, в соответствии с которой компонента типа D реализована в рамках компонента распространения ГС ББП, узлы В_Р и В_Р можно объединить в виде одного технологического узла подготовки. В таком случае введение на низком уровне распределения по ролям (узел обработки и узел подготовки) позволяет конфигурировать контуры формирования БП, соответствующие различным технологическим моделям на основе типовых узлов.

Определим особенности реализации программного каркаса управления технологиями формирования БП:

- 1) высокоуровневые компоненты реализованы в виде отдельных управляющих приложений

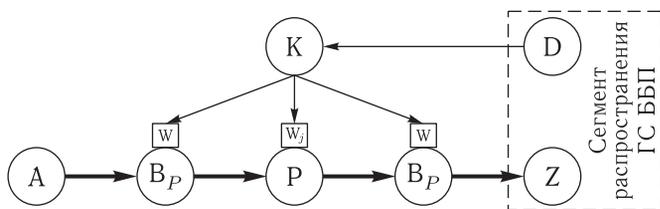


Рис. 8. Модель управления технологическим контуром формирования ТБП: компонент К развернут на отдельном узле, компонент D развернут в сегменте распространения ГС ББП, низкоуровневые компоненты W развернуты на вычислительных узлах подготовки В и вычислительных узлах обработки Р. Обычные стрелки — управляющие команды программного каркаса, толстые стрелки — направление движение данных ДЗЗ

мониторинга новых СПП из НКПОР в рамках технологий формирования СБП и в рамках логики web-api ГС ББП для технологий формирования ТБП;

- 2) среднеуровневые компоненты реализованы в виде приложений, взаимодействующих с БД (администрирования), и построены на основе разработанных статусных моделей заявок и элементарных задач;
- 3) низкоуровневые компоненты реализованы в виде кросс-платформенных приложений, обеспечивающих инициализацию исполняемых скриптов и приложений в технологиях;
- 4) взаимодействие между структурными компонентами различных уровней реализовано посредством протокола TCP/IP в виде обмена JSON-сообщениями.

Конфигурирование вычислительных ресурсов в обеспечение технологий формирования БП

В соответствии с [3] аппаратно-технологическая инфраструктура предусматривает распределение дискового пространства системы хранения данных (СХД) и серверных мощностей (по количеству вычислительных ядер и оперативной памяти) между вычислительными узлами компонентов ГС ББП.

Характеристики СХД определяют пиковую производительность вычислительной системы и являются критически важными при конкурентном обращении к одному ресурсу различных вычис-

лительных узлов. В связи с этим была проведена серия экспериментов по оценке характеристик read/write для СХД, сконфигурированной для решения различных задач с использованием RAID-технологий: RAID 0 — для операционных задач формирования БП, скорость обработки которых приоритетна относительно надежности; RAID 5 — для задач оперативного хранения и распространения БП, отказоустойчивость которых приоритетна относительно количества IOPS.

Оценка скорости копирования файлов размером 10–20 Гбайт СХД → СХД (операции чтения и записи выполняются на одном СХД) проводилась на основе серии экспериментов (не менее 10), по результатам которой RAID 0 (2D) — 80–100 Мбайт/с, RAID 5 (3D + 1P) — 70–90 Мбайт/с. Кроме того, было проведено сравнение RAID 0 (2D) и RAID 0 (4D), при одновременном копировании двух файлов (20 Гбайт каждый) для каждой из RAID-групп. Полученные результаты демонстрируют преимущество в скорости RAID 0 (4D) около 30–35% и, как следствие, использование двух RAID 0 (2D) обеспечат выше скорость копирования по сравнению с одним RAID 0 (4D).

Распределение серверных мощностей вычислительной системы осуществлялось путем выделения типовых узлов, конфигурация которых приведена в табл. 3:

1. Вычислительный узел (ВУ) предназначен для формирования СБП и ТБП на основе ресурсов выделяемых посредством виртуализации.
2. GPU-node (GPUN) предназначен для высоконагруженных расчетов, в частности формирования СБП на основе данных ДЗЗ уровня 0 CEOS.
3. Технологический узел (ТУ) предназначен для обслуживания мониторинговых задач либо буферов хранения БП ДЗЗ.
4. Сервисный узел (СУ) предназначен для поддержки веб-приложений и веб-сервисов, нетребовательных к количеству вычислительных ядер и ограниченно требовательных к ресурсам оперативной памяти.

На основе типовых узлов были сконфигурированы технологические контуры формирования БП по данным отечественных КС ДЗЗ. В табл. 4 приве-

Таблица 3. Конфигурация типовых узлов серверных мощностей вычислительной системы

Тип узла	Аппаратная конфигурация	ОС
Вычислительный	VM 8 ядер, 8–16 Гбайт ОЗУ	Windows/Linux
GPU-узел	Хеоп Е5-2670, 128 Гбайт ОЗУ, NVidia K40c	Windows
Технологический	VM 1–2 ядра, 2–4 Гбайт ОЗУ	Linux
Сервисный	VM 2–4 ядра, 4–16 Гбайт ОЗУ	Linux

дены результаты оценки производительности сформированных контуров (в том числе количество одновременно исполняемых потоков обработки на узле).

Конфигурация контуров формирования СБП осуществлялась в соответствии с объемом поступающей из НКПОР информации. Производительность контуров оценивалась из условия обработки множества маршрутов СПП за определенный промежуток времени (1–3 ч).

Конфигурация контура формирования ТБП осуществлялась путем максимизации количества ТБП, которые можно сформировать за сутки, на основе одной RAID 0 группы из двух дисков, для множества вычислительных узлов обработки. Для этого модель, представленная на рис. 5, была сформирована в виде единичного узла подготовки (реализует задачи подготовки к обработке и фор-

Таблица 4. Конфигурация технологических контуров формирования БП (технологии СБП демонстрируют производительность в виде среднего объема СПП в сутки/пиковый объем СПП в сутки/производительность в сутки)

Контур	Конфигурация контура	Производительность, Гбайт/сут
«Канопус-В» СБП	1*ВУ (3 потока)	150/400/500
«Метеор» СБП	1*ТУ + 1*ВУ (3 потока)	75/140/150
«Ресурс-П» СБП	1*GPUN (1 поток)	10/30/ более 1000
Многоэтапный ТБП	1*ТУ (2 потока) + 5*ВУ (1 поток)	более 1000

мирование единого пакета заказа) на базе технологического узла (в соответствии с табл. 3) и множества узлов обработки — вычислительных узлов.

На рис. 9 представлена зависимость количества обрабатываемых сцен от количества узлов обработки. Номенклатура формируемых продуктов для каждой сцены включала спектральные каналы в величинах спектральной плотности энергетической яркости на верхней границе атмосферы (соответствуют СБП (TOA_L)), спектральный коэффициент отражения на верхней границе атмосферы (TOA_Ro), вегетационные индексы (NDVI, SR, RGR, BAI). Размер выходного архива продукции для одной сцены составлял около 0,8–1 Гбайт.

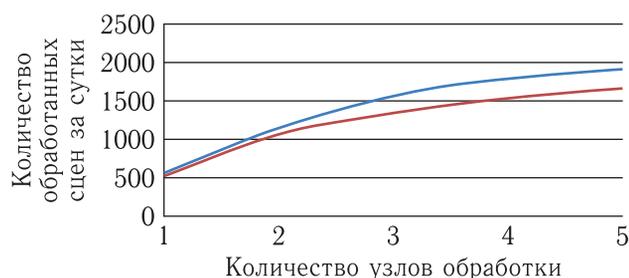


Рис. 9. Зависимость количества обрабатываемых сцен (на примере данных КМСС «Метеор-М») от количества узлов обработки: красный график — полный технологический процесс трехэтапной модели формирования ТБП, синий — тот же технологический процесс, но без этапа формирования единого пакета

Сконфигурированный технологический контур, развернутый на базе RAID 0, является элементом тиражирования и, соответственно, количество обрабатываемых сцен линейно зависит от возможностей аппаратно-технологической инфраструктуры. Таким образом, в соответствии с [3] можно развернуть не менее трех контуров и обеспечить обработку более 4500 сцен в сутки (данных оперативного архива). Для рассматриваемой (в ходе тестирования) номенклатуры продуктов это составляет более 4 Тбайт в сутки.

Заключение

1. Рассмотрена обобщенная технологическая модель формирования БП и специализированные модели формирования СБП по данным российских КА ДЗЗ типа «Канопус-В», «Метеор-М»

и «Ресурс-П». Приведено обоснование использования технологий GPGPU в обеспечение формирования СБП; экспериментально подтверждена высокая производительность и простота формирования технологических моделей.

2. Рассмотрены технологические модели формирования ТБП: 1) одноэтапный сценарий, обеспечивающий удобное масштабирование в части производительности, но неэффективное масштабирование в части расширения номенклатуры БП и доступных ресурсов; 2) многоэтапный сценарий, обеспечивающий эффективное масштабирование в части расширения номенклатуры БП и использования доступных вычислительных ресурсов.

3. Приведена унифицированная программная модель каркаса управления технологиями формирования БП, показана специализация технологий СБП и ТБП под эту программную модель.

4. Приведены особенности конфигурации вычислительных ресурсов в обеспечение технологий формирования БП: 1) определены характеристики типовых RAID-групп в обеспечение операционных задач формирования БП и задач аккумуляции БП; 2) сконфигурированы типовые виртуальные машины в обеспечение отказоустойчивости и масштабируемости технологий формирования БП; 3) вычислительная система обеспечивает формирование более 500 Гбайт СБП и 4 Тбайт ТБП в сутки.

Список литературы

1. Васильев А. И., Ольшевский Н. А., Коршунов А. П. Банк базовых продуктов межведомственного использования — геоинформационный сервис оператора КС ДЗЗ // XIV Всерос. открытая конф. «Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса», Москва, 14–18 ноября 2016 г. : Тез. докл. URL: http://smiswww.iki.rssi.ru/d33_conf/thesisshow.aspx?page=133&thesis=5633 (дата обращения: 18.01.2018).
2. Васильев А. И., Ольшевский Н. А., Коршунов А. П., Стремов А. С. Программные технологии создания и распространения базовых продуктов дистанционного зондирования Земли // Ракетно-космическое приборостроение и информационные системы, 2015, т. 2, вып. 3. С. 23–32.
3. Марков А. Н., Васильев А. И., Ольшевский Н. А., Коршунов А. П., Михаленков Р. А., Салимонов Б. Б., Стремов А. С. Архитектура геоинформационного сервиса «Банк базовых продуктов» // Современ. проблемы дистанц. зондирования Земли из космоса, 2016, т. 13, № 5. С. 39–51.
4. Васильев А. И. Калибровка съемочной аппаратуры космического аппарата «Канопус-В» в процессе его эксплуатации // Современ. проблемы дистанц. зондирования Земли из космоса, 2015, т. 12, № 1. С. 203–214.
5. Васильев А. И., Стремов А. С., Коваленко В. П. Исследование данных комплекса широкозахватной мультиспектральной аппаратуры КА «Ресурс-П» для решения спектрометрических задач // Современ. проблемы дистанц. зондирования Земли из космоса, 2017, т. 14, № 4. С. 36–51.
6. Васильев А. И., Стремов А. С., Коваленко В. П., Михеев А. А. Исследование динамики изменения параметров абсолютной калибровки мультиспектральной камеры КА «Канопус-В» №1 // Тез. докл. Пятой междунаро. научно-технической конф. «Актуальные проблемы создания космических систем дистанционного зондирования Земли». М.: АО «Корпорация «ВНИИЭМ», 2017. С. 172–174.
7. Васильев А. И., Крылов А. В. Технология стандартной обработки данных ШМСА-ВР КА «Ресурс-П» в обеспечение автоматического формирования бесшовного сплошного покрытия // Доклад на XV Всероссийской открытой конференции «Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса», Москва, 13–17 ноября 2017 г. Тез. докл. URL: http://smiswww.iki.rssi.ru/d33_conf/thesisshow.aspx?page=144&thesis=6206 (дата обращения: 28.01.2018).
8. Бекренёв О. В., Жуков Б. С., Гришанцева Л. А., Полянский И. В. Особенности автоматической потоковой обработки данных КМСС космического комплекса «Метеор-3М» // Геоматика, 2015, № 2. С. 32–36.
9. Vasilyev A. I., Boguslavskiy A. A., Sokolov S. M. Parallel SIFT-detector implementation for images matching // Proc. of the 21st Conference on Computer Graphics and Vision, GraphiCon'2011, September 26–30, 2011, Moscow, pp. 173–176.
10. Васильев А. И., Карпенко А. П., Штанов Е. Л. Анализ информативности данных дистанционного зондирования земли с использованием графических процессоров nvidia // Тр. Международной суперкомпьютерной конференции «Научный сервис в сети Интернет: многообразие суперкомпьютерных миров» (22–27 сентября 2014 г., Новороссийск). М.: Изд-во МГУ, 2014. 497 с. С. 45–48.