

ОРГАНИЗАЦИЯ РАСПРЕДЕЛЕННОЙ МНОГОПОТОКОВОЙ ОБРАБОТКИ СПУТНИКОВЫХ ДАННЫХ В ИНТЕРЕСАХ СИСТЕМ МОНИТОРИНГА ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ

А. А. Прошин, Д.А. Кобец

Институт космических исследований Российской академии наук, Москва

Всероссийская конференция с международным участием
«Обработка пространственных данных в задачах
мониторинга природных и антропогенных процессов»
(SDM-2023)

г. Бердск, Новосибирская область, Россия

Актуальность задачи

Стремительное развитие систем спутникового мониторинга Земли в последние десятилетия привело к появлению новых более совершенных приборов наблюдения и к практически экспоненциальному росту объемов поступающих с них данных.

Для решения реальных исследовательских и прикладных задач используется широкий спектр тематических информационных продуктов, получаемых из «исходных» данных при помощи выполнения большого числа различных процедур обработки, многие из которых требуют весьма значительных вычислительных ресурсов.

Это приводит к необходимости эффективной организации распределенной многопоточковой обработки спутниковых данных, позволяющей выполнять сотни различных процедур обработки данных, контролировать их успешность и анализировать оптимальность используемых подходов.

Система управления многопоточковой обработкой

Для решения вышеперечисленных задач в рамках центра коллективного пользования ЦКП «ИКИ-Мониторинг» была разработана система управления многопоточковой обработкой спутниковых данных на кластере windows серверов, который в настоящее время включает в себя около 200 компьютеров и виртуальных машин.

При создании системы к ней предъявлялись следующие основные требования:

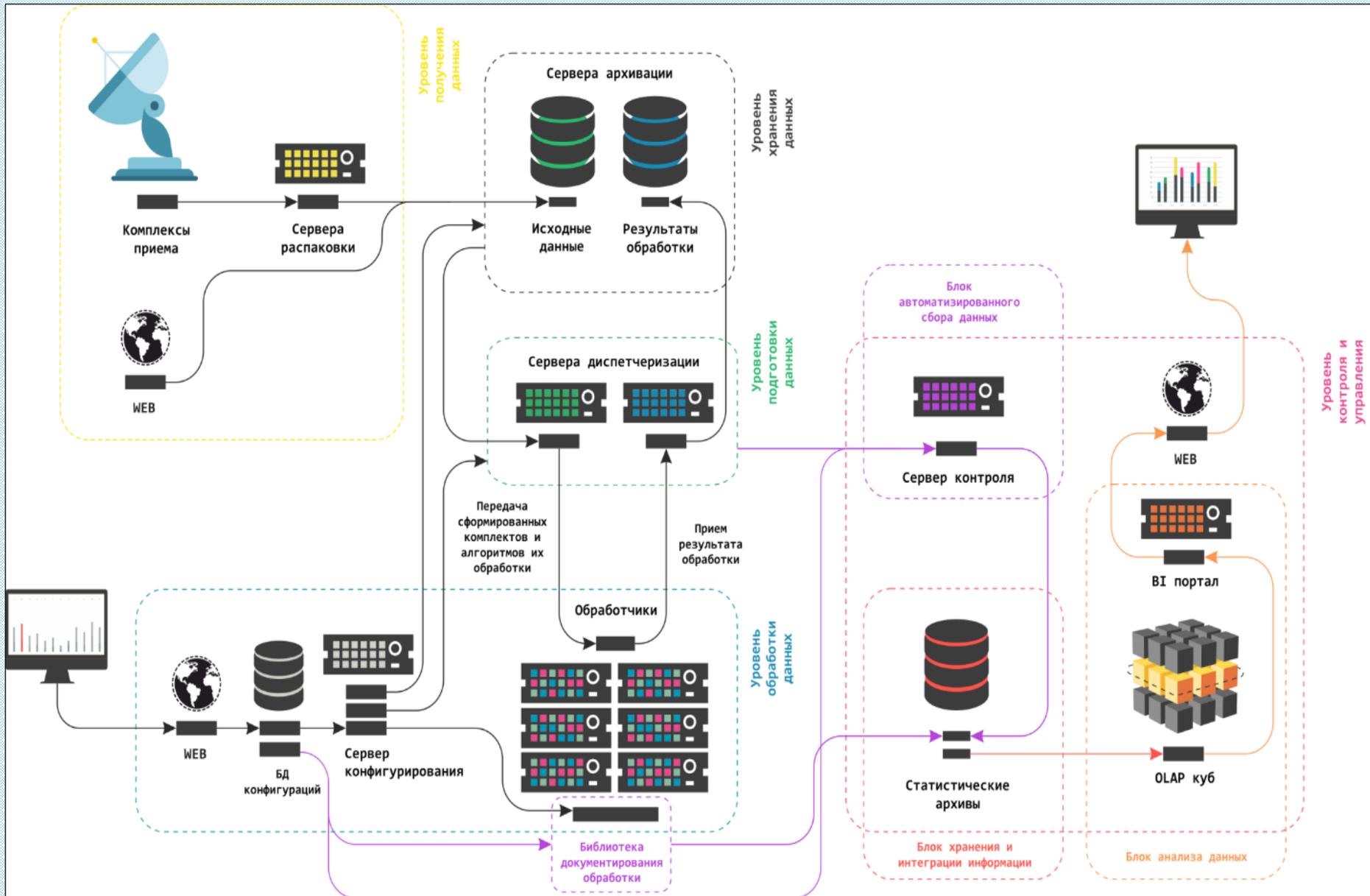
1. Масштабируемость как при увеличении числа обработок, так и при расширении парка серверов обработки
2. Максимально эффективное использование вычислительных ресурсов и возможность задания приоритетов выполнения различных задач по обработке данных
3. Многоуровневый контроль за выполнением процедур обработки
4. Отказоустойчивость при выходе из строя отдельных серверов обработки

Архитектура построения

Архитектура построения комплекса распределенной многопоточковой обработки спутниковых данных включает в себя следующие основные уровни обработки данных:

- Уровень получения данных (закачка и распаковка приборных потоков данных из центров приема)
- Уровень архивации данных (архивы исходных и обработанных данных)
- Уровень подготовки данных (отслеживание полноты данных, формирование комплектов под каждый тип обработки, выдача их вычислительным узлам, архивация полученного результата)
- Уровень обработки данных (вычислительные узлы и их конфигурация)
- Уровень управления и контроля (управление обработкой, сбор статистических показателей о ходе процессов обработки и их анализ)

Архитектура построения



Общие сведения о реализации

- Сервера, обеспечивающие получение данных, их архивацию, подготовку данных, диспетчеризацию процессов обработки и контроль за их выполнением реализованы под управлением операционных систем FreeBSD и Linux.
- Программное обеспечение UNIX-серверов реализовано в основном на языках программирования Perl, Python и C с использованием большого количества специально разработанных библиотечных модулей. Автоматический запуск программ на серверах производится по расписанию на основе стандартного Unix-сервиса cron. Частота запуска конкретных программ, естественно, зависит от их назначения.
- Выполнение широкого спектра различных процедур обработки спутниковых данных реализовано на кластере серверов под управлением ОС Windows, на которых устанавливается стандартный комплект разработанного в ИКИ РАН программного обеспечения.
- Часть задач по обработке данных также решается на серверах под управлением ОС Unix, что обусловлено использованием стороннего программного обеспечения, реализованного на этой платформе.

Подсистема сбора данных

Подсистема сбора данных предназначена для получения из различных источников, как исходных спутниковых данных, так и различных информационных продуктов, полученных на основе их обработки. Также в ее задачи входит предварительная подготовка данных для архивации. Основным достоинством реализованной подсистемы является полная автоматизация процессов получения спутниковых данных.

Подсистема архивации данных

Подсистема архивации данных отвечает за архивацию спутниковых данных и продуктов, полученных на основе их обработки, а также за предоставление доступа к метаданным и данным в архивах на уровне программных интерфейсов. Ключевой технологией при ее построении является разработанная в ИКИ РАН унифицированная технология ведения сверхбольших распределенных архивов разнородных спутниковых данных UNISAT.

Подсистема обработки данных

- Подсистема обработки данных предназначена для проведения потоковой обработки поступающих в архивы новых данных, а также для построения различных информационных продуктов, получаемых на основе обработки уже имеющихся в архивах данных.
- Реализация подсистемы основана на использовании разработанной в ИКИ РАН технологии организации распределенной многопоточковой обработки спутниковых данных, позволяющей эффективно управлять работой многих десятков вычислительных узлов, входящих в состав программно-аппаратного комплекса ЦКП «ИКИ-Мониторинг».
- Реализованная технология дает возможность отслеживать все этапы выполнения процессов обработки спутниковых данных от элементарных процедур обработки, до их выполнения задач обработки на множестве вычислительных узлов.

Программный пакет обработки спутниковых данных на Windows серверах

Программный пакет для обработки спутниковых данных, устанавливаемый на Windows-серверах, разработан на языках C и C++ с использованием свободно распространяемого программного обеспечения. При его разработке особое внимание уделялось унификации, что позволяет использовать одни и те же программные компоненты на большом числе различных серверов, в том числе территориально удалённых и развёрнутых на разных платформах. Для многих задач обработки спутниковых данных также активно используется и различное свободно распространяемое программное обеспечение, в частности, GDAL, GRAS GIS, Proj, Imager и др.

Использование специализированных пакетов обработки на UNIX серверах

- Наряду со станциями обработки, функционирующими под ОС Windows, в настоящее время активно используется также сервера обработки под управлением различных версий ОС UNIX, что позволяет использовать специализированные пакеты обработки, созданные для работы с данными различных спутниковых систем.
- В частности, для обработки данных прибора MODIS нами в том числе используется разработанный в NASA программный пакет SeaDAS (<https://seadas.gsfc.nasa.gov>), а для обработки данных спутников серии Sentinel - разработанный в ESA пакет приложений SNAP (Sentinel Application Platform, <http://step.esa.int/main/toolboxes/snap>).

Программа запуска заданий на Windows серверах обработки

На серверах обработки устанавливается специальная программа, которая периодически обращается к управляющим Unix-серверам для получения очередного назначенного на выполнение задания по обработке спутниковых данных. После получения такого задания программа запускает его выполнение в многопоточном режиме (сессии), при этом количество потоков зависит как от свойств конкретной обработки, так и от имеющихся на сервере аппаратных ресурсов. В рамках каждого из потоков последовательно запускаются отдельные процессы, предназначенные для скачивания на сервер требуемых данных, проведения различных этапов их обработки и передачи результатов на сервер архивации.

Управление выполнением заданий

- Управление выполнением заданий по обработке спутниковых данных реализовано на основе использования специализированного веб-интерфейса, который позволяет сконфигурировать параметры выполнения каждого из заданий на кластере вычислительных узлов. К таким параметрам в частности относятся: приоритет задания, требуемая для его выполнения оперативная память и дисковое пространство, характерное время выполнения (от десятков минут до суток), используемый для него сервер диспетчеризации и другие.
- Одной из наиболее актуальных задач системы управления является обеспечение приоритетного выполнения наиболее критичных заданий по обработке после их появления в очереди. Сложность решения этой задачи связана с тем, что необходимо обеспечить минимальное время простоя в работе вычислительных узлов кластера притом, что многие задание могут выполняться достаточно долго. С этой целью для длительных и не очень срочных заданий устанавливается максимальное количество вычислительных узлов, на которых они могут одновременно выполняться.

Контроль за выполнением процедур на Unix-серверах

Контроль выполнения процедур на Unix-серверах диспетчеризации обработки реализуется на основе использования разработанного в ИКИ РАН программного пакета PMS (Process Monitoring System). Для этого все контролируемые процессы запускаются при помощи специальной программы, которая заносит протоколы их выполнения и стандартные коды возврата в специализированную базу данных. Для доступа к этой информации и настройки параметров контроля выполнения процессов используется специализированный веб-интерфейс.

[PMS at HRSATDB] Statistics of Autonomous Processes Execution

Last read server time: 30 Sep 17:59:50 (+03)
Since read: 00:21
Calls per table: 5 | Offset: 0 | +0

Current state: All processes, Running processes, Stopped processes, All calls, Effective, Emonous, Hide calls older (days): 1, Hide processes without calls, Filter by mask

Process	5	4	3	2	1	Last success	Last Error
600 [unixat_hrnat] Add launcher	17:55	17:56	17:57	17:56	17:58	17:59	21 Sep
601 [unixat_hrnat] Import planets_united metadata	18:11	18:12	18:13	18:24	17:47	23:21	28 Oct 2020
602 [unixat_hrnat] Import zarcpod_united metadata	17:32	17:33	17:51	17:53	17:56	02:57	22 Sep
603 [unixat_hrnat] Import divcpod_united metadata	18:27	18:28	17:01	17:02	17:03	03:56	22 Sep
610 [unixat_hrnat] Manage store subdirs	17:55	17:56	17:57	17:58	17:59	08:26	14 Oct
614 [unixat_hrnat] Prepare sentinel2 data	17:52	17:54	17:56	17:58	17:59	17:59	22:45
616 [unixat_hrnat] Add sentinel2level2	17:52	17:53	17:54	17:55	17:56	17:57	11 Sep
618 [unixat_hrnat] Prepare sentinel2_12a data	17:52	17:54	17:56	17:58	17:59	17:59	13:42
619 [unixat_hrnat] Add sentinel2prepared_12a	17:52	17:53	17:54	17:55	17:56	17:57	9 Aug
632 [unixat_hrnat] Add source_pan1 landsat/pnh_landat	10:22	10:23	10:27	10:28	16:00	16:00	20:07
633 [unixat_hrnat] Add source_pan1 landsat/pnh_landat_globe	10:22	10:23	10:27	10:28	16:00	16:00	20:07

Process ID: 600 Name: Add launcher
Started at: 30 Sep 17:59:05 (+03) Finished at: 30 Sep 17:59:10 (+03)
Exit Code: Signal: 40 Running time: 5 seconds

[PMS at HRSATDB] Configuration of Processes

Common Process Information

ProcID: 600 Process active in PMS
Name: Add_launcher
Description:
Developer: [dropdown]
Preceding process: [dropdown]
Last run at: 2022-09-30 18:09:05
Command: /home/hello/pro/unixat/hrnat_launcher.pl

Process groups configuration

Active groups: [dropdown] Others groups: [dropdown]
Add proc after TFFSERVIS, bibox_access, DDB, hrnat

Error states configuration/notification

NO SUCCESS jobs during 1 days 0 hours 0 mins
 ERRORS jobs during last 0 days 0 hours 0 mins
 TOO LONG execution during 0 days 6 hours 0 mins
 Send EMAIL with interval 24 hours Attach last PROTOCOL to mail
 Process errors are UNCRITICAL and don't affect the server error status
 Generate fault management system alert

Process execution configuration

Enable process execution Disable process execution
 Suspend process executing for 3 hours
 Suspend process executing till 2022-09-30 18:10:10

Update Save as New Remove

Документирование процессов на Windows-серверах обработки

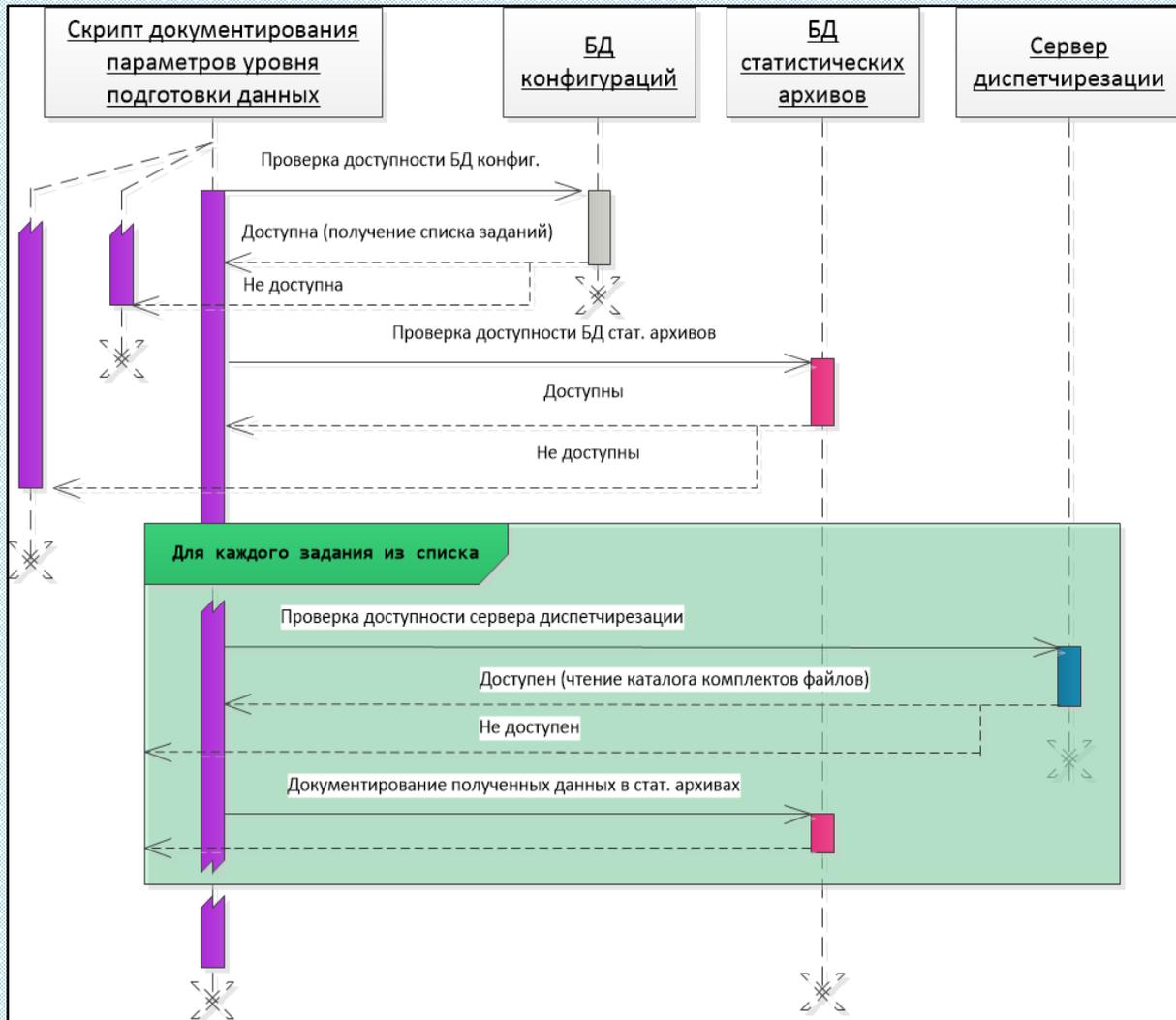
Контроль выполнения процедур обработки данных на Windows-серверах обработки реализован на основе протоколов системы управления многопоточковой обработкой спутниковых данных. Программа запуска заданий по обработке спутниковых данных, установленная на Windows-серверах, протоколирует информацию обо всех выполняемых процессах в централизованную базу данных. При этом для каждого из элементарных процессов фиксируется следующая информация:

- идентификатор сервера
- тип обработки
- идентификатор сессии
- номер потока выполнения
- время начала и окончания
- код возврата

В случае возникновения ошибки при выполнении процесса фиксируется сообщение о ее причинах, а выполнение соответствующего потока выполнения задания по обработке данных прекращается.

Документирование процессов на Windows-серверах обработки

Диаграмма последовательности операций уровня подготовки данных



Документирование процессов на Windows-серверах обработки

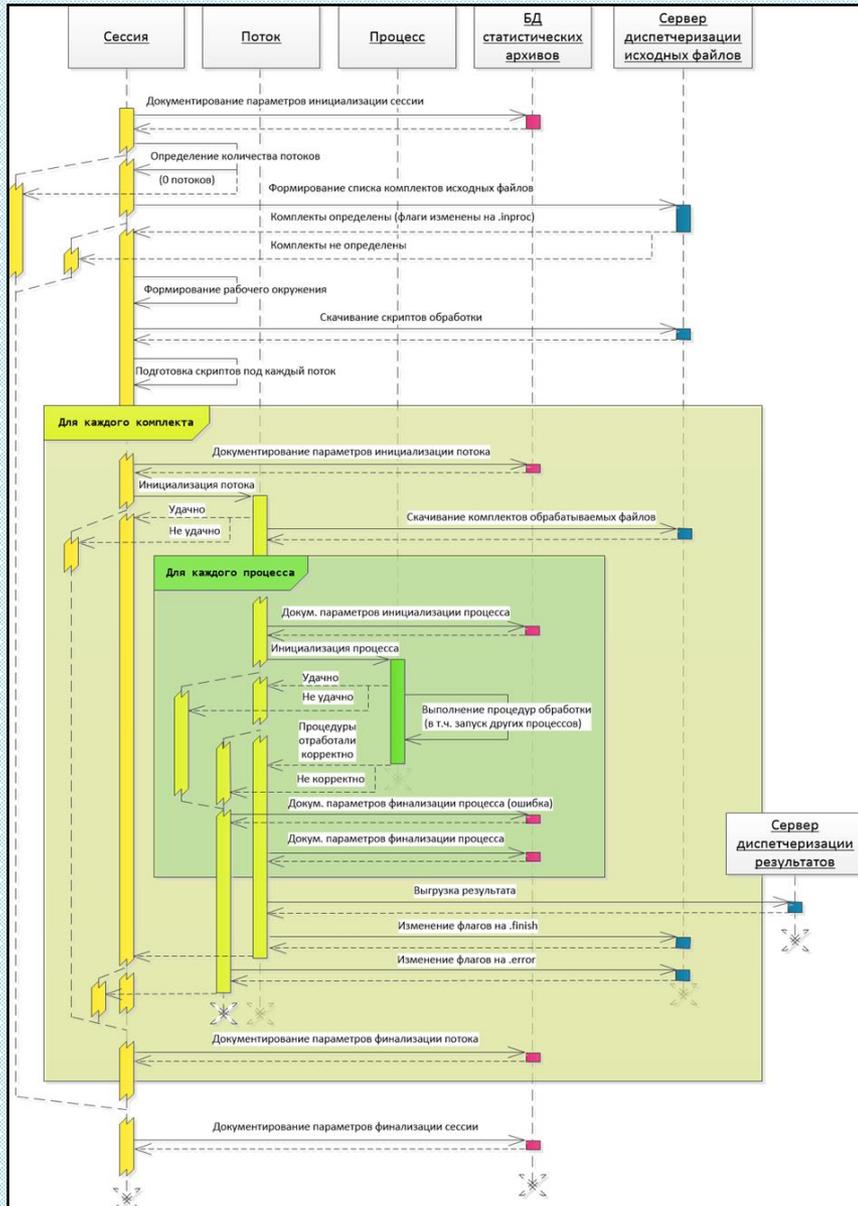


Диаграмма последовательности операций уровня обработки данных

Контроль процессов на Windows-серверах обработки

- За сутки в централизованную базу данных поступает информация о сотнях тысяч элементарных процессов, относящихся к различным типам обработки и выполняемых на разных серверах, в сессиях и потоках. Это приводит к необходимости использования инструментов для получения контрольной информации в различных агрегированных представлениях.
- Решение было найдено в применении современных BI-технологий (Business intelligence), использующих хранилища структурированной информации на основе OLAP-структур (online analytical processing). Благодаря возможности предварительной агрегации информации по различным признакам и параметрам, эти инструменты позволяют достаточно быстро проводить анализ больших объемов многомерных данных. На основе BI-технологий был реализован целый ряд различных интерактивных отчетных форм (таблиц, гистограмм, графиков), позволяющих визуально анализировать информацию о выполнении как элементарных процессов, так и комплексных процедур обработки.

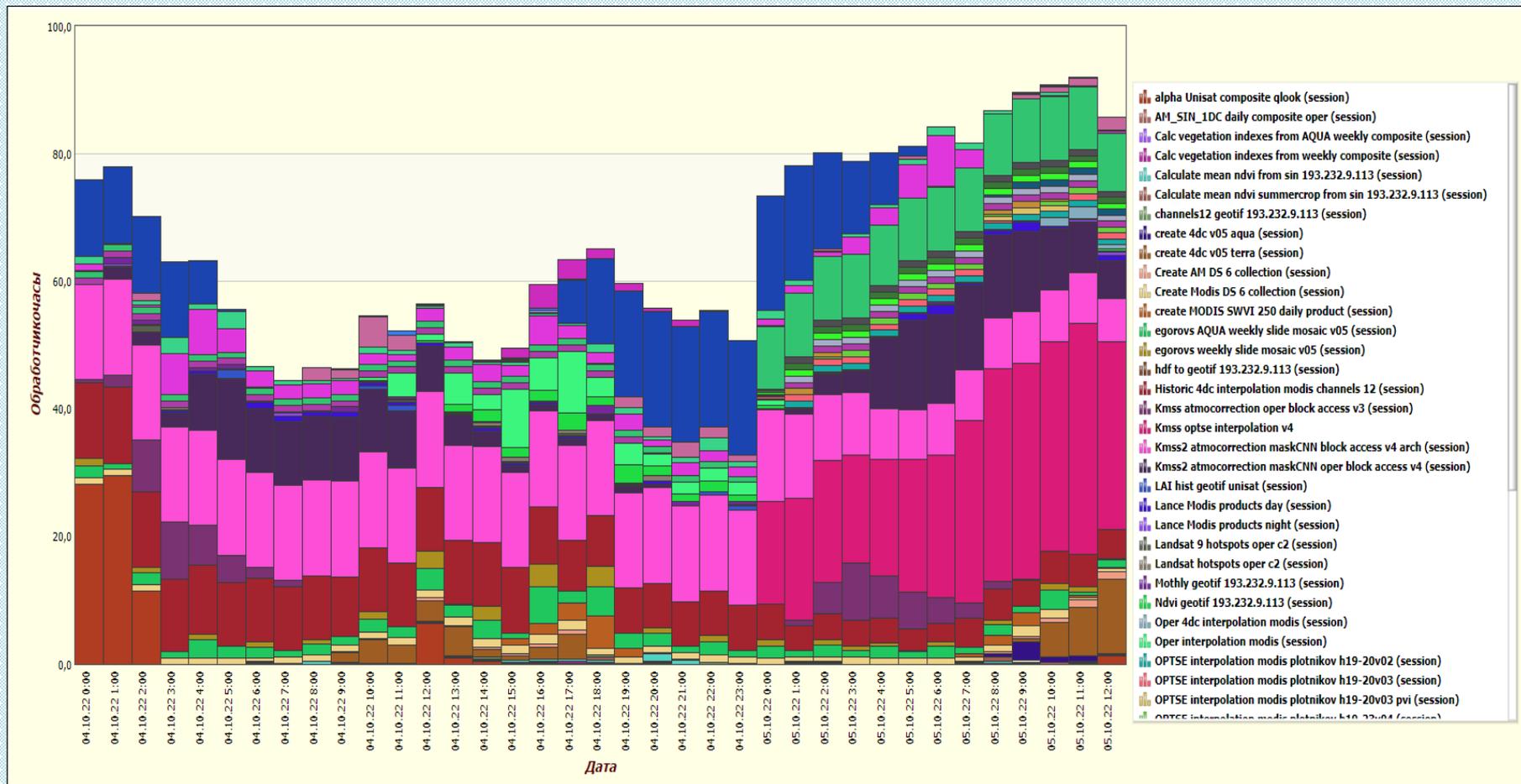
Примеры интерфейсов контроля на базе технологии VI

Пример использования VI-интерфейса для получения информации о выполнении заданий обработки спутниковых данных.

Группы заданий	Задания	Обработчики	.rdy	Удачных	Продолжительность сессий [мин]	Среднее количество потоков в сессии	Среднесессионная продолжительность потока [мин] min	Среднесессионная продолжительность потока [мин] avr	Среднесессионная продолжительность потока [мин] max	Процесс	Ошибки	
<input type="checkbox"/> регулярные-приоритетные	<input checked="" type="checkbox"/> alpha Unisat composite qlook (session)		724	819	4 643	3	0,2	5,7	49,6	1		
	<input checked="" type="checkbox"/> AM_SIN_1DC daily composite oper (session)			46	55	1	0,6	1,2	2,2			
	<input checked="" type="checkbox"/> Burns 250 TV product (session)		3									
	<input checked="" type="checkbox"/> Calc vegetation indexes from AQUA weekly composite (session)			94	56	1	0,2	0,6	2,8			
	<input checked="" type="checkbox"/> Calc vegetation indexes from weekly composite (session)			132	78	1	0,2	0,6	3,2		1	
	<input checked="" type="checkbox"/> Calculate mean ndvi from sin 193.232.9.113 (session)	<input checked="" type="checkbox"/> BLADE_06_GZ										
		<input checked="" type="checkbox"/> BLADE_10_GZ			1	1	1	0,8	0,8	0,8		
		<input checked="" type="checkbox"/> BLADE_11_GZ			6	8	2	0,4	1,4	3,1		
		<input checked="" type="checkbox"/> BLADE_12_GZ			1	1	1	1,1	1,1	1,1		
		<input checked="" type="checkbox"/> BLADE_15_GZ			6	9	2	0,7	1,5	2,1		
		<input checked="" type="checkbox"/> BLADE_16_GZ			10	14	3	0,4	1,4	3,1		
		<input checked="" type="checkbox"/> P-ALLA-28										
		<input checked="" type="checkbox"/> P-B2013-183										
		<input checked="" type="checkbox"/> P-GACRUX-75										
		<input checked="" type="checkbox"/> P-NATASHA-29			11	7	6	0,4	0,6	0,8		
	<input checked="" type="checkbox"/> P-TANYA-154											
	<input checked="" type="checkbox"/> P-YULIA-30			3	15	3	5,0	5,0	5,0			
	<input checked="" type="checkbox"/> PDL-6C-DIONE			11	10	1	0,4	0,9	2,2			
	<input checked="" type="checkbox"/> PDL-6C-ENCCELADUS			14	11	2	0,4	0,8	1,9			

Примеры интерфейсов контроля на базе технологии VI

Пример использования VI-интерфейса для сравнительного анализа времени, затраченного на выполнение различных задач по обработке спутниковых данных



Заключение

- Реализованная в ИКИ РАН технология распределенной многопоточковой обработки спутниковых данных обеспечивает эффективное функционирование большого кластера вычислительных узлов (около 200) для решения широкого спектра задач ЦКП «ИКИ-Мониторинг»
- В настоящее время ведутся работы по модернизации системы с целью эффективной поддержки работы все возрастающего числа вычислительных узлов. Также ведутся работы по поддержке всего реализованного функционала для вычислительных узлов, работающих под управлением операционных систем Unix.
- Работы по развитию технологий обработки спутниковых данных с 2019 г. выполняются при поддержке темы Министерства науки и высшего образования Российской Федерации «Большие данные в космических исследованиях: астрофизика, солнечная система, геосфера» (№ 122042500019-6).

Спасибо за внимание