

Интерактивная технология формирования рабочих потоков обработки пространственных данных

Р. В. Брежнев, Ю. А. Маглинец, Н. С. Хорошева, К. В. Раевич

Сибирский федеральный университет, Красноярск, 660074, Россия

E-mail: brejnev.ruslan@gmail.com

Обсуждается проблема автоматизации процессов, связанных с обработкой, анализом, представлением данных дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ) и производных продуктов. Разработана технология, предоставляющая пользователю инструменты графического моделирования потоков работ на основе веб-интерфейса. Цель технологии состоит в переходе к созданию готовых программных решений в виде прикладных сервисов на основе высокоуровневых потребностей, не требующему разработки программного кода. Возможность такого перехода основана на концепции low-code, которая позволяет трансформировать цикл разработки специализированного программного обеспечения для дистанционного мониторинга территорий, полностью либо частично исключая этап разработки программного кода. Поток работ рассматривается в парадигме управления workflow и ассоциируется с прикладной задачей, решаемой пользователем в узкоспециализированном контексте. Каждый поток работ представляет собой упорядоченное множество, элементами которого служат программные модули взаимодействия с данными ДЗЗ, сторонними сервисами, системами хранения и визуализации. Обоснована необходимость разработки заявленной программной технологии. Сформулированы предусловия создания моделей рабочих потоков, требования к функциональным блокам системы, программному окружению, элементам графической нотации, программным интерфейсам. Результаты работы применялись в задачах агромониторинга, в том числе для отслеживания динамики состояния посевов, неоднородности растительности, получения температурных картосхем, а также в задачах получения и каталогизации данных ДЗЗ различных спутниковых систем в хранилище данных ДЗЗ Института космических и информационных технологий Сибирского федерального университета. Рассмотрены перспективы развития технологии и особенности функционирования в условиях распределённой архитектуры.

Ключевые слова: дистанционное зондирование Земли из космоса, геопространственные данные, workflow, low-code, графический редактор процессов, визуальный конструктор, исполняемые процессы, обработка спутниковых данных, функциональные модули, оператор, веб-интерфейс

Одобрена к печати: 03.04.2024

DOI: 10.21046/2070-7401-2024-21-2-89-100

Введение

При решении многократно повторяющихся задач, связанных с обработкой пространственной информации, используется алгоритмическая последовательность вызовов модулей обработки данных, которая может быть представлена на языке программирования либо на сценарном языке. В работе рассматривается альтернативная возможность, предусматривающая конструирование таких последовательностей на основе применения визуального редактора. Это позволяет упростить процесс генерации алгоритмов и в ряде случаев исключить процесс программирования как таковой, тем самым понизив требования к специалисту в области обработки данных: функции, которые выполнял программист, можно делегировать специалисту-предметнику, заинтересованному в информации, получаемой путём обработки данных дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ).

Данный подход не является чем-то принципиально новым: ещё в 1990-е гг. широко обсуждалась концепция workflow (Трофимов, Саакян, 2018). Центральным понятием концепции выступает поток работ — упорядоченное множество шагов, образующих последовательность выполнения некоторого бизнес-процесса. В настоящее время на рынке информационных технологий (ИТ) представлены десятки систем управления бизнес-процессами (*англ.*

Business Process Management System — BPMS), реализующих концепцию workflow, в частности Dynamics 365 и Power Automate от Microsoft, workflow-решения от российских ИТ-компаний: ELMA365 (*англ.* ELegant MAnagement), Directum RX, Sunrise BPMS, Pyrus и многие др. Кроме того, благодаря комбинации workflow и парадигм разработки low-code и отчасти no-code наблюдается синергетический эффект, состоящий в возможности создания новых диалоговых элементов, форм и отдельных пользовательских интерфейсов, гибко встраиваемых в бизнес-процессы.

Вместе с тем концепция workflow используется не только для задач автоматизации бизнес-процессов. В последнее десятилетие возможности workflow нашли широкое применение в задачах обработки и анализа геопространственных данных и реализуются в программных пакетах обработки данных дистанционного зондирования Земли и геоинформационных системах. В качестве примера можно указать программный комплекс с открытым исходным кодом SNAP (*англ.* Sentinel Application Platform) для обработки и анализа данных ДЗЗ (Foumelis et al., 2018). Другой пример — российский геоинформационный программный комплекс ИМС (*англ.* Image Media Center), позволяющий решать задачи первичной, предварительной и тематической обработки, а также анализировать геопространственные данные в рамках единой системы (Лобзенев, Логванев, 2014). Программный комплекс ENVI (*англ.* ENvironment for Visualizing Images), предназначенный для визуализации и обработки данных ДЗЗ, включает компонент визуального программирования ENVI Modeler, который позволяет строить цепочки обработки данных на основе базы автоматизированных модулей, разработанных на собственном встроенном языке IDL (*англ.* Interactive Data Language) (<https://sovzond.ru/press-center/news/corporate/3771>). В пакете программ Erdas Imagine, также предназначенном для обработки данных ДЗЗ, представлен модуль Spatial Modeler, позволяющий создавать различные графические модели обработки данных (Феофилактова, Борисова, 2010).

Помимо перечисленных программных комплексов визуализации и обработки данных ДЗЗ, концепции workflow и low-code активно применяются в современных геоинформационных системах (ГИС). Так, для открытой ГИС Quantum GIS разработан модуль Graphical Modeler (https://www.qgistutorials.com/en/docs/3/processing_graphical_modeler.html), позволяющий в интерактивном режиме выстраивать цепочки обработки данных. Ещё одним примером является ArcGIS, для которой с версии Pro 3.2 разработан модуль ModelBuilder, позволяющий моделировать потоки работ по обработке растровых и векторных пространственных данных (<https://pro.arcgis.com/en/pro-app/latest/help/analysis/geoprocessing/modelbuilder/what-is-modelbuilder-.htm>).

Привлекательность концепций workflow и low-code в системах ДЗЗ и ГИС определяется такими объективными обстоятельствами, как увеличение количества спутников ДЗЗ, рост объёма информации, передаваемой на наземные станции приёма, а также значительным улучшением качества данных ДЗЗ в отношении как пространственного, так и спектрального разрешения. Также наблюдается ускоренное развитие систем авиационной съёмки, в частности с беспилотных авиационных систем (БАС), и сопряжённое с этим увеличение объёма и улучшение качества передаваемой ими информации. Все перечисленные факторы формируют высокий потребительский спрос на результаты аэрокосмической съёмки и производные тематические продукты. Увеличивается число задач, требующих обработки пространственных данных, которая осуществляется в специализированных системах ДЗЗ и ГИС.

При нахождении устойчивой комбинации операций обработки данных, позволяющей решать возникающие задачи, целесообразно формировать готовые типовые алгоритмы для многократного использования. В этом случае применение концепции workflow представляется одним из наилучших решений. Дополнительно во всех случаях, где есть такая возможность, целесообразно применение подхода low-code, что позволяет минимизировать привлечение разработчиков программного кода. Однако следует отметить, что при выстраивании полноценной среды для решения прикладных задач обработки пространственных данных на базе использования рассмотренных выше систем ДЗЗ и ГИС зачастую требуется дополнительный функционал. Так, возникает необходимость решения вопросов интеграции с внешними ресурсами, учёта особенностей приёма данных, их подготовки к обработке, публикации

на геопорталах и многое другое, что зачастую затруднительно как для закрытых, так и для открытых систем.

Альтернативным путём для создания среды выполнения задач обработки пространственных данных становится развитие собственных workflow-решений с применением low-code на базе центров ДЗЗ регионального уровня, обладающих комплексами ДЗЗ. Такие центры, как правило, агрегируют вокруг себя профессиональные коллективы специалистов и разработчиков, широкий спектр тематических задач мониторинга территорий и набор программных решений, которые способны работать в комплексе. Далее рассматривается внедрение обсуждаемых в работе концепций в системе дистанционного мониторинга Института космических и информационных технологий Сибирского федерального университета (СДМ ИКИТ) (Брежнев и др., 2012).

Концепция построения технологии формирования рабочих потоков

Реализация возможностей workflow основывается на программно-аппаратной среде, представленной в виде архитектурного решения (рис. 1). В отличие от приведённых ранее примеров workflow в системах ДЗЗ и ГИС, рассматриваемая технология основана на принципах многозвенной клиент-серверной архитектуры, использующей веб-технологии, что с точки зрения объёма компонентов программного окружения делает создаваемую систему более сложной, но при этом платформенно независимой и не требующей инсталляции компонентов на рабочих местах пользователей.

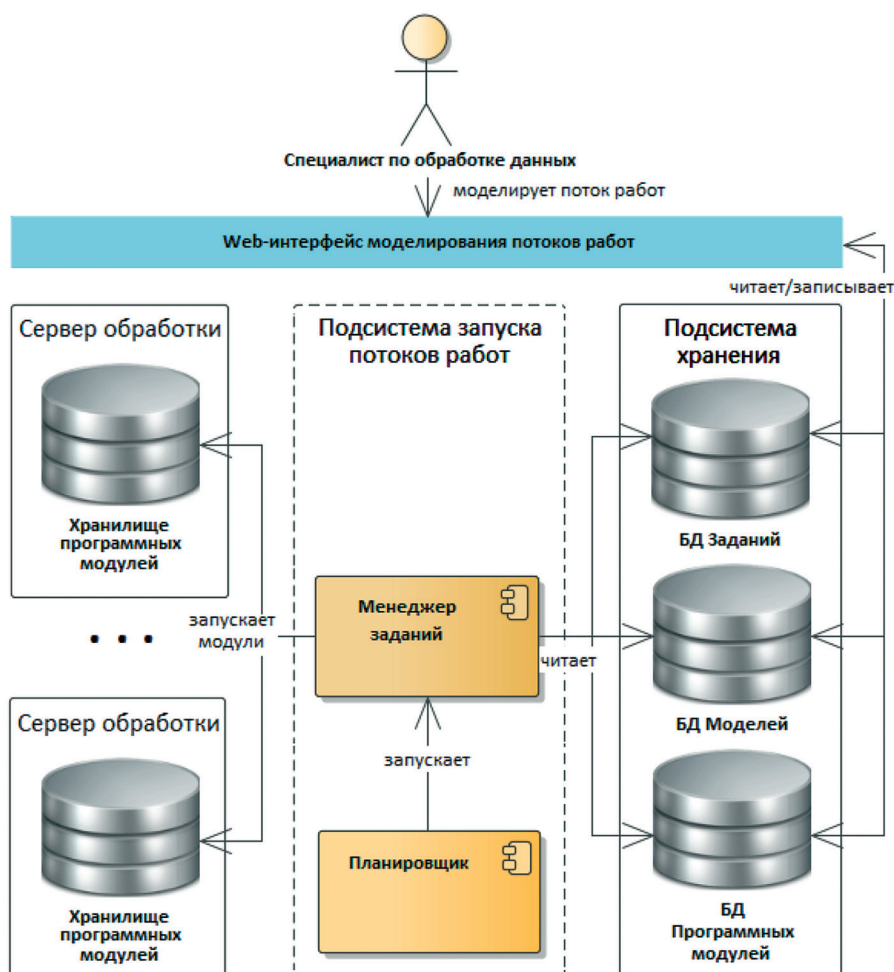


Рис. 1. Архитектура программно-аппаратного комплекса технологии формирования потоков работ

Структурно систему можно разделить на следующие крупные блоки:

1. Веб-интерфейс, который предоставляет диалоговые средства для моделирования потоков работ. Включает рабочее пространство, в котором пользователь может создать новый проект workflow. Рабочее пространство разделено на область графических элементов — функциональных блоков и область для построения модели. Пользователь может оперировать функциональными блоками, перетаскивая их с помощью drag-and-drop в область создания модели. Интерфейс позволяет добавлять и удалять блоки, а также перемещать их. Также существует возможность сохранить незавершённый проект модели, отредактировать сохранённую модель и поставить её на исполнение.

Каждый функциональный блок представляет собой программный модуль, который выполняет некоторый шаг решения задачи. Для задания входных параметров блокам реализована форма, содержание которой изменяется в зависимости от выбранного блока.

Кроме того, существует операторский интерфейс для управления базой программных модулей. Он позволяет каталогизировать новый модуль, описать множество его входных параметров, а также редактировать уже существующие модели в табличном виде.

2. Серверы обработки. Количество и специализация серверов обработки определяется спецификой решаемых задач. Технически в контур распределённой обработки данных могут входить не только серверы из одной локальной вычислительной сети, но и внешние, в том числе находящиеся в периметре защищённых корпоративных сетей, доступные по защищённым VPN-каналам (*англ.* Virtual Personal Network). Однако следует оценивать целесообразность включения новых вычислительных узлов, поскольку, с одной стороны, распределённая обработка данных значительно увеличивает время выполнения из-за передачи по сети больших объёмов данных ДЗЗ, а с другой стороны — делает процесс уязвимым для сетевых сбоев. Основным критерием подключения внешнего вычислительного узла должно быть размещение набора программных модулей, импорт которых в центральный сегмент системы обработки невозможен, например в силу отсутствия программно-технологического окружения, необходимого для функционирования модуля.

3. Подсистема хранения на логическом уровне, которая содержит следующие тематические разделы данных: о программных модулях системы, моделях рабочих потоков, активных заданиях на выполнение рабочих потоков.

4. Подсистема запуска потоков работ — базируется на системном планировщике, назначение которого состоит в запуске менеджера заданий с заданной частотой.

Принцип выполнения потока работ основывается на менеджере заданий — программном модуле, который следит за наличием в базе данных (БД) запланированных заданий (см. *рис. 1*). Под заданием понимается готовая модель потока работ, имеющая статус «запланировано» (*status* = 2). Запланированная к исполнению модель программно состоит из набора функциональных модулей, для которых задана последовательность исполнения. Различаются линейные, параллельные и альтернативные потоки работ. Кроме того, функциональные блоки потоков могут быть распределены по сети, т. е. допустима ситуация, когда необходимо запустить программный модуль, находящийся на удалённом сервере. Для удалённого запуска используется SSH (*англ.* Secure Shell), а доступ модулей к исходным данным и данным промежуточных результатов обработки организован как общий сетевой ресурс.

Таким образом, менеджер заданий последовательно запускает каждый модуль, ожидает его завершения и запускает следующий, а в случае параллельного выполнения создаёт параллельные системные потоки, в которых также отслеживает выполнение каждого модуля.

Программные модули

Основой функциональных возможностей системы являются программные модули, распределённые между узлами вычислительной сети. Для использования в моделировании потоков работ каждый модуль должен быть проиндексирован в БД системы (*рис. 3*). Как было отмечено ранее, в системе реализован интерфейс оператора для наполнения базы программных

модулей. Таким образом, каждый модуль функционально расширяет возможности моделируемых потоков работ.

Рассмотрим, каким требованиям должен соответствовать модуль, чтобы быть пригодным для использования в модели.

1. Модули должны быть адаптированными для выполнения под управлением различных дистрибутивов операционной системы Linux.
2. Модуль может быть написан на любом языке программирования. Единственным ограничением становится существование соответствующих компиляторов и интерпретаторов языков под операционной системой Linux.
3. Входные данные модулей должны передаваться через текстовый интерфейс ввода. Текстовый интерфейс позволяет автоматически запускать на исполнение модуль и гибко передавать ему любые команды в виде набора параметров, которые считываются из БД, а не напрямую через графический интерфейс.
4. Входные параметры должны быть организованы в виде пар «ключ – значение», где ключ – символьное имя переменной, а значение может быть любого типа данных, в том числе таких как объекты, SQL-запросы (*англ.* Structured Query Language, язык структурированных запросов), списки, массивы и т.д. При этом ключ может не иметь значения и быть лишь условием, разделяющим разные сценарии поведения модуля. В качестве значения ключ может содержать подмножество других параметров. Входные параметры могут иметь значения по умолчанию, которые могут быть переопределены в процессе построения модели потока.

Примеры программных модулей, включённых в состав функциональных блоков для моделирования потоков работ

Модуль	Блок	Назначение
1. CROP_TO_CUTLINE	«Обрезать изображение по векторной маске»	Получение фрагмента изображения по заданному векторному контуру
2. ATMCOR	«Атмосферная коррекция»	Атмосферная коррекция некоторых снимков в процессе подготовки для дальнейшего анализа
3. COMBINE_BANDS	«Объединить каналы изображения»	Объединение каналов изображений в нужном порядке
4. SCALE_TRANSFORM	«Преобразование шкал»	Преобразование исходного диапазона значений пикселей в целевой. Например, исходный — 2^{12} , целевой — 2^8 для публикации изображения на веб-сервисе
5. IMPROVE_CONTRAST	«Улучшить контраст»	Поканальная обработка гистограммы изображения для улучшения контраста
6. SEGMENTATION_THRESHOLD	«Пороговая сегментация»	Разбиение плоскости изображения на сегменты по заданным порогам
7. INDEX_NDVI	«Создать канал NDVI»	Расчёт и создание индексных изображений NDVI
8. RM_FILE	«Удалить файл»	Удаление временных файлов в заданной директории
9. ZONALSTAT	«Расчитать среднее значение NDVI» (\overline{NDVI})	Расчёт заданных параметров в границах заданного полигона
	«Расчитать среднее квадратическое отклонение» (σ)	
10. GEOJSON	«Создать geojson объект»	Создание geojson-слоя

Примечание: NDVI — *англ.* Normalized Difference Vegetation Index, нормализованный разностный вегетационный индекс.

На данный момент разработано порядка 30 модулей, которые реализуют около 40 сценариев поведения, определяемых входными параметрами. Технология представляется открытой для расширения библиотеки модулей. Условно все модули (*таблица*) можно разделить на несколько категорий:

- **Обработчики данных.** К этой категории относятся функции предварительной тематической обработки изображений, конвертирования форматов, фильтрации, преобразования в вектор, работы с векторными данными и др.
- **Коннекторы.** В данную категорию можно отнести все модули, которые устанавливают соединение с внешними ресурсами (серверами и сервисами) по учётным данным, API (*англ.* Application Programming Interface), REST (*англ.* Representational State Transfer), токенам для получения данных ДЗЗ или готовых тематических продуктов. К таким ресурсам можно отнести архив данных Геологической службы США USGS (*англ.* United States Geological Survey), сервер Научного центра оперативного мониторинга Земли (НЦ ОМЗ), систему Европейских центров морских прогнозов Copernicus Open Access Hub, архив Института космических исследований РАН.
- **Вспомогательные модули.** Осуществляют поддержку основных этапов потока работ и решают задачи очистки директорий от временных файлов, поиска файлов по заданным маскам, транспортирование данных по файловой системе и по сети и др.

Графическая нотация

В отличие от систем BPM, использующих в качестве языка моделирования процессов BPMN (*англ.* Business Process Model and Notation) (<https://www.omg.org/spec/BPMN/2.0.2/About-BPMN>), предоставляющий широкий набор семантически значимых графических элементов, перечисленные в разд. «Введение» системы обработки геопространственных данных применяют свои упрощённые графические нотации, основные элементы которых в общем случае сводятся к блоку и стрелке, позволяющие построить ориентированный граф потока работ.

Блок характеризует программный модуль комплекса (*рис. 2а*). Он агрегирует содержание модуля и не раскрывает его функциональные детали, и таким образом, для пользователя блок представляет «чёрный ящик», имеющий заданное количество входов и выходов. Стрелки обозначают поток и определяют порядок выполнения работ (*рис. 2б*). В данной работе дополнительно вводится элемент «условие», который позволяет создавать альтернативные потоки работ (*рис. 2в*).

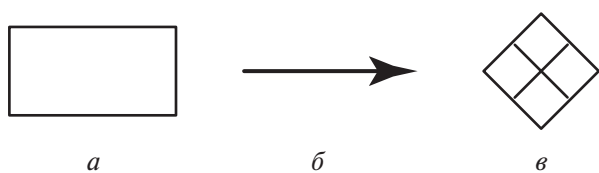


Рис. 2. Элементы графической нотации для моделирования потоков работ: *а* — блок (функция); *б* — дуга (порядок функций); *в* — условие (альтернативные потоки)

Несмотря на простоту предложенной нотации, она обладает достаточной мощностью для достижения поставленных целей. Некоторые элементы не отрисовываются в графическом виде, а указываются непосредственно. Так, данные, используемые в потоке работ, указываются через входные параметры блоков при настройке. Количество повторений отдельного блока или всего потока работ, как правило, определяется количеством элементов данных, размещённых в директориях, откуда они считываются модулем при обработке. Многие блоки инкапсулируют в себе последовательность действий, которые можно рассмотреть как вложенный поток. Несмотря на ограничения элементов, графическая модель позволяет выразить линейные потоки, распараллеливание и синхронизацию потоков, альтернативные потоки и циклические работы, в том числе сам поток тоже может быть циклическим.

Хранение моделей

Модель потока работ с позиции её хранения (см. *рис. 3*) представляет собой иерархическую структуру, на верхнем уровне которой размещена модель как абстракция (WFModel), которая включает множество функциональных блоков (Module), между которыми задан порядок через отношение Module_Order. Следующий уровень представления — параметры (Params). Каждый функциональный блок может включать множество параметров, а каждый параметр может относиться к множеству блоков, что описывается отношением Module_Params. При этом количество входных параметров блока определяется на этапе его создания в системе. Входные параметры могут иметь значения по умолчанию, которые могут быть переопределены в процессе построения модели. Также помимо начального множества входных параметров блоку можно задать расширенный состав дополнительных параметров (Module_Extended_Settings), если они не существуют в справочнике (Params). Необходимость в дополнительных параметрах и их значениях может возникнуть только в контексте использования блока в некоторой модели.

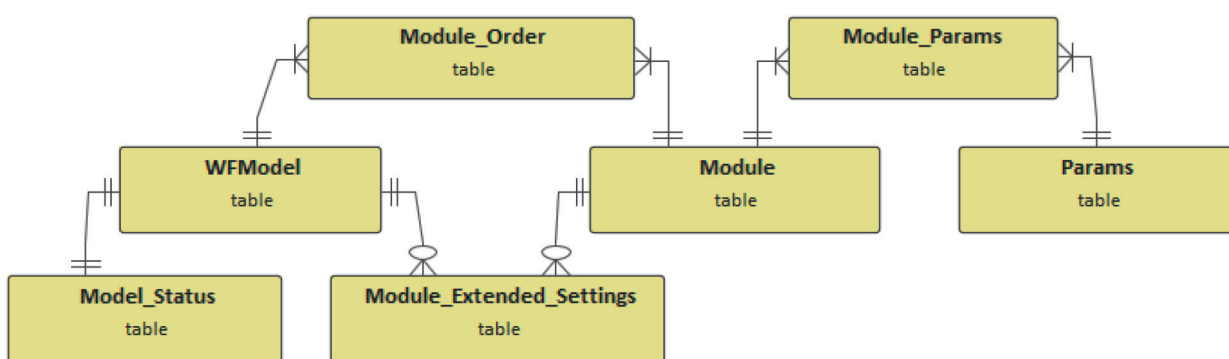


Рис. 3. Логическая схема данных workflow-системы

Таким образом, сохранённая модель (WFModel) может быть помечена пользователем статусом «запланировано», после чего она будет принята к исполнению менеджером заданий.

Результаты и обсуждение

В период с 2011 г., когда был представлен концепт workflow-технологии для автоматизации приёма и обработки спутниковой информации на базе региональной системы ДЗЗ Сибирского федерального университета (Маглинец, Брежнев, 2011), обсуждаемая технология прошла путь эволюционного развития. В 2016–2018 гг. представлен первый программный прототип решения (Брежнев, Перевалова, 2018), а в 2019–2020 гг. — версия с обновлённым интерфейсом и расширенными функциональными возможностями (Brezhnev et al., 2020).

За длительный период технология проходила практическую апробацию при решении задач мониторинга развития агрокультур (Brezhnev et al., 2020), динамики неоднородности растительности (Brezhnev, Maglinets, 2017, 2019; Brezhnev et al., 2018), прогнозирования урожайности (Федотова и др., 2020), вычисления температуры поверхности по данным Landsat в целях сбора статистических данных для прогнозирования урожайности (Maglinets et al., 2020). Во всех перечисленных исследованиях технология использовалась для построения линейных потоков работ и не позволяла строить параллельные и альтернативные потоки обработки.

В текущей версии активно тестируются перечисленные выше ранее отсутствовавшие возможности. В частности, в публикации (Брежнев и др., 2023) заявлена возможность ветвления потока работ. Эта возможность, основанная на потоках (*англ.* threading) и очередях (*англ.* queue), по существу, позволяет распараллеливать выполнение программных модулей, отслеживать при необходимости статус выполнения и не только получать различные конечные

результаты, основываясь на одних и тех же промежуточных данных, но и оптимизировать время обработки данных, а также время загрузки вычислительных ресурсов.

В качестве примера можно привести поток работ по каталогизации данных ДЗЗ в файловом хранилище системы ДЗЗ ИКИТ СФУ и индексации данных в БД (рис. 4), который стал основным сценарием для апробации и отладки расширенных возможностей технологии.

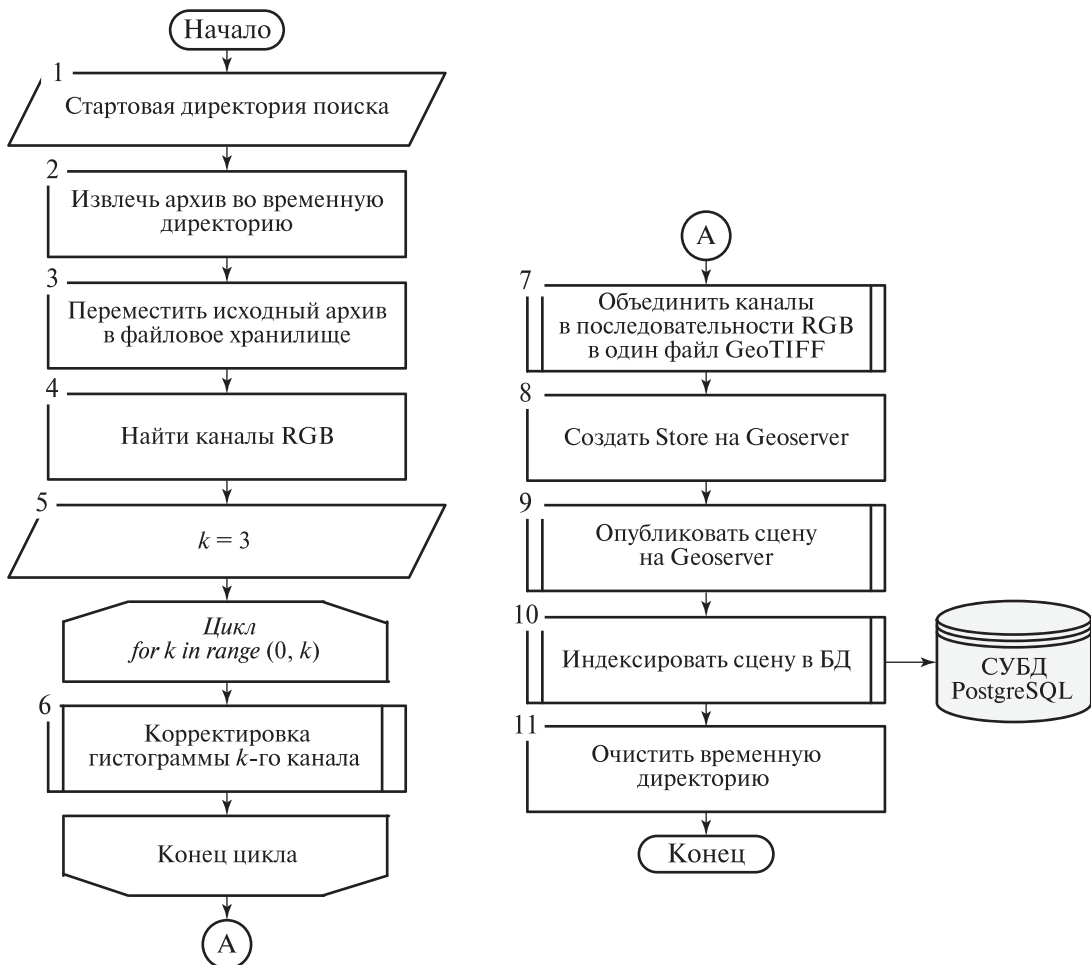


Рис. 4. Блок-схема алгоритма индексации данных Landsat-8, -9, Sentinel-2 в хранилище системы ДЗЗ ИКИТ СФУ

Исходными данными для алгоритма выступают множество TAR-архивов (англ. Tape ARchive) спутниковых снимков Landsat-8, -9 и Sentinel-2A/2B, загруженных из архивов USGS и Copernicus Open Access Hub соответственно. Результатом работы алгоритма должен стать снимок, опубликованный на ГИС GeoServer в естественных цветах. Модель потока работ для представленного алгоритма показана на рис. 5 (см. с. 97).

Алгоритм (см. рис. 4) представляет унифицированную схему обработки для данных Landsat-8, -9, Sentinel-2. Однако модель потока работ (см. рис. 5) учитывает нюансы, характерные для разных источников данных; в частности, на это влияет разная организация структуры файлов в архивах, различные форматы метаданных, названия файлов, что тоже имеет воздействие на организацию модели потока, так как функциональные блоки самостоятельно ищут нужные им файлы по заданным подстрокам, которые различаются в зависимости от источника данных.

Таким образом, в рассмотренной модели демонстрируется реализация альтернативных потоков, разделяющих специфичные операции для данных USGS и Copernicus Open Access Hub, а также соединение альтернативных потоков.



Рис. 5. Модель потока работ для индексации данных Landsat-8, -9, Sentinel-2 в хранилище системы ДЗЗ ИКИТ СФУ

В заключение необходимо обозначить некоторые преимущества и перспективы дальнейшего развития технологии, и в частности концепций workflow и low-code для систем ДЗЗ:

- комбинация workflow и low-code позволяет значительно ускорить цикл работ по созданию и внедрению готовых программных продуктов для региональных потребителей от бизнес-потребности до готового решения в виде веб-ГИС-сервисов. Для этого необходимо наличие, с одной стороны, тиражируемого веб-решения для визуализации геоданных в виде ГИС-слоёв, с другой — пополняемой базы программных модулей, создающих тематические картографические продукты для визуализации;
- использование технологии позволяет трансформировать цикл разработки специализированных программных сервисов для дистанционного спутникового мониторинга территорий, исключая при необходимости этап разработки программного кода, но сохраняя такую возможность;
- технология реализует на практике принцип повторного использования, что позволяет применять один раз созданную модель в нескольких сервисах;
- технология даёт возможность распределённой обработки данных в условиях масштабирования системы при изменении сетевой или аппаратной инфраструктуры комплекса ДЗЗ.

Практическое использование разработанной технологии требует наличия пополняемого набора библиотек программного кода для обработки данных ДЗЗ, доступа к источникам данных ДЗЗ, компетенций в обработке и анализе изображений, геоинформационных технологиях, сформировавшейся организационной структуре и структуре взаимодействия с потенциальными потребителями. Все это характерно для центров ДЗЗ регионального уровня и центров компетенций, агрегирующих потребности региональных потребителей результатов космической деятельности.

Исследование осуществлено при поддержке Красноярского краевого фонда поддержки научной и научно-технической деятельности в рамках проекта «Цифровая импортозамещающая технология обнаружения лесных пожаров на основе использования уникальной российской спутниковой группировки «Арктика-М» с последующей интеграцией с системой ИСДМ-Рослесхоз» (№ 2023031409613). Работы поддержаны из средств гранта в форме субсидии Научно-образовательного центра «Енисейская Сибирь» № 075-15-2023-620 от 29 августа 2023 г.

Литература

1. Брежнев Р. В., Первалова А. А. Технология графического построения процессов обработки и анализа данных дистанционного зондирования Земли // Регион. проблемы дистанц. зондирования Земли:

- материалы 5-й Международ. науч. конф. Красноярск, 11–14 сент. 2018 / науч. ред. Е. А. Ваганов; отв. ред. Г. М. Цибульский. Красноярск: Сибирский федер. ун-т, 2018. С. 40–43.
2. Брежнев Р. В., Маглинец Ю. А., Мальцев Е. А., Соснин А. С., Цибульский Г. М., Шатрова К. В. Программно-технологическая инфраструктура представления и обработки геопространственной информации муниципального района // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2012. Т. 9. № 3. С. 316–323.
 3. Брежнев Р. В., Федоров И. Е., Маглинец Ю. А., Раевич К. В., Герасимова Е. И. Развитие технологии интерактивного формирования процессов обработки и анализа данных ДЗЗ // Регион. проблемы дистанц. зондирования Земли: материалы 10-й Международ. науч. конф. Красноярск, 12–15 сент. 2023 / науч. ред. Е. А. Ваганов; отв. ред. Г. М. Цибульский. Красноярск: Сибирский федер. ун-т, 2023. С. 9–13.
 4. Лобзев В. Н., Логванев И. Г. Полный цикл обработки материалов ДЗЗ в ПК ИМС // Международ. научно-техн. конф. «От снимка к карте: цифровые фотограмметрические технологии». 2014. № 14. С. 13–19.
 5. Маглинец Ю. А., Брежнев Р. В. Развитие средств автоматизации приёма и обработки спутниковой информации региональной системы ДЗЗ СФУ // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2011. Т. 8. № 3. С. 120–128.
 6. Трофимов О. В., Саакян А. Г. Функционирование промышленных предприятий в условиях цифровой экономики // Фундамент. исслед. 2018. № 8. С. 122–126.
 7. Федотова Е. В., Маглинец Ю. А., Брежнев Р. В. и др. Получение временных рядов LAI сельскохозяйственных культур для прогнозирования урожайности // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2020. Т. 17. № 4. С. 195–203. DOI: 10.21046/2070-7401-2020-17-4-195-203.
 8. Феофилактова Т. В., Борисова М. В. Использование модуля MODELER программы ERDAS IMAGINE 9.2 для автоматизации процесса дешифрирования объектов на основе нелинейных спектральных признаков // Изв. высш. учеб. заведений. Геодезия и аэрофотосъемка. 2010. № 6. С. 47–52.
 9. Brezhnev R. V., Maglinets Yu. A. Information Support Technique for Solving Agricultural Land Monitoring Tasks Based on Earth Remote Sensing Data // J. Siberian Federal Univ. Engineering and Technologies. 2017. V. 10. No. 6. P. 819–827. DOI: 10.17516/1999-494X-2017-10-6-819-827.
 10. Brezhnev R. V., Maglinets Yu. A. The dynamic model of agricultural land structure on the space images in the precision agriculture tasks // E3S Web Conf. 2019. V. 75. Article 01001. DOI: 10.1051/e3sconf/20197501001.
 11. Brezhnev R. V., Maglinets Yu. A., Raevich K. V. et al. Modeling of Agricultural Spatial Objects with Heterogeneous Dynamically Changing Spatial Structure // CEUR Workshop Proc. 2018. V. 2210. P. 316–322. DOI: 10.18287/1613-0073-2018-2210-316-322.
 12. Brezhnev R. V., Maglinets Yu. A., Raevich K. V. An Interactive Environment for Modeling the Processes of ERS Data Processing and Analysis // CEUR Workshop Proc. 2020. V. 2534. P. 61–67.
 13. Fomelis M., Delgado Blasco J. M., Desnos Y. et al. ESA-SNAP — Stamps integrated processing for Sentinel-1 persistent scatterer interferometry // IGARSS. 2018. P. 1364–1367. DOI: 10.1109/IGARSS.2018.8519545.
 14. Maglinets Y., Brezhnev R., Raevich K. et al. The Scheme of Setting and Solving of Spatial Objects Monitoring Tasks // IEEE Intern. Conf. Information Technology and Nanotechnology (ITNT). 2020. P. 1–5. DOI: 10.1109/ITNT49337.2020.9253313.

Interactive technology for the generation of spatial data processing workflows

R. V. Brezhnev, Yu. A. Maglinets, N. S. Khorosheva, K. V. Raevich

*Siberian Federal University, Krasnoyarsk 660074, Russia
E-mail: brejnev.ruslan@gmail.com*

The paper addresses the problem of automation of the processes related to Earth remote sensing data and derivative product processing, analysis, and presentation. A web-based interface technology has been developed that provides the user with tools for graphical modeling of workflows. The technology aims at a transition to the creation of ready-made software solutions in the form of application services

based on high-level needs, which does not require development of a software code. The underlying concept for the transition is a low-code concept that helps transform the development cycle of specialized software for remote monitoring of territories through complete or partial elimination of the software code development stage. The workflow is considered within the workflow management paradigm and is associated with an application task solved by the user in a highly specialized context. Each workflow is an ordered set where the elements are software modules for interaction with Earth remote sensing data, third-party services, storage and visualization systems. The need to develop the claimed software technology is substantiated. Preconditions for the workflow model development, requirements for the system functional blocks, software environment, graphic notation elements and software interfaces are formulated. The outputs were used in agricultural monitoring tasks, including tracking the crop condition dynamics, vegetation heterogeneity, temperature mapping, as well as in the tasks related to obtaining and cataloging remote sensing data from various satellite systems in the Earth remote sensing data warehouse of Siberian Federal University School of Space and Information Technology. Development potential of the technology and its performance features for a distributed architecture are considered.

Keywords: Earth remote sensing from the space, geospatial data, workflow, Low-code, graphical process editor, visual designer, executable processes, satellite data processes, functional modules, operator, web-interface

Accepted: 03.04.2024

DOI: 10.21046/2070-7401-2024-21-2-89-100

References

1. Brezhnev R. V., Perevalova A. A., Technology of the graphic development of the ERS data processing and analysis procedures, *Regional'nye problemy distantsionnogo zondirovaniya Zemli: materialy 5-i Mezhdunarodnoi nauchnoi konferentsii* (Regional Issues of the Earth Remote Sensing: Proc. 5th Intern. Scientific Conf.), Krasnoyarsk: Siberian Federal Univ., 2018, pp. 40–43 (in Russian).
2. Brezhnev R. V., Maglinets Yu. A., Maltsev E. A., Perfil'ev S. E., Sidorov A. Yu., Tsibul'skii G. M., Shokol A. S., Software Technology Information Infrastructure Support for the Tasks Territorial Administration, *Sovremennye problemy distantsionnogo zondirovaniya Zemli iz kosmosa*, 2012, Vol. 9, No. 3, pp. 316–323 (in Russian).
3. Brezhnev R. V., Fedorov I. E., Maglinets Yu. A., Raevich K. V., Gerasimova E. I., Development of technology for interactive processes formation of Earth remote sensing data processing and analyzing, *Regional'nye problemy distantsionnogo zondirovaniya Zemli: materialy 10th Mezhdunarodnoi nauchnoi konferentsii* (Regional Issues of the Earth Remote Sensing: Proc. 10th Intern. Scientific Conf.), Krasnoyarsk: Siberian Federal Univ., 2023, pp. 9–13 (in Russian).
4. Lobznev V. N., Logvanev I. G., Full cycle of processing Earth remote sensing materials in the IMC software package, *Mezhdunarodnaya nauchno-tekhnicheskaya konferentsiya "Ot snimka k karte: tsifrovye fotogrammetricheskie tekhnologii"* (Intern. Scientific and Technical Conf. "From Image to Map: Digital Photogrammetric Technologies"), 2014, No. 14, pp. 13–19 (in Russian).
5. Maglinets Y. A., Brezhnev R. V., Development of automatization means of satellite data acquisition and processing in the regional system of remote sensing data of Siberian Federal University, *Sovremennye problemy distantsionnogo zondirovaniya Zemli iz kosmosa*, 2011, Vol. 8, No. 3, pp. 120–128 (in Russian).
6. Trofimov O. V., Saakyan A. G., Functioning of industrial enterprises under the conditions of the digital economy, *Fundamental Research*, 2018, No. 8, pp. 122–126 (in Russian).
7. Fedotova E. V., Maglinets Yu. A., Brezhnev R. V. et al., Obtaining time series of LAI to predict crop yield, *Sovremennye problemy distantsionnogo zondirovaniya Zemli iz kosmosa*, 2020, Vol. 17, No. 4, pp. 195–203 (in Russian), DOI: 10.21046/2070-7401-2020-17-4-195-203.
8. Feofilaktova T. V., Borisova M. V., Using the MODELER module of ERDAS IMAGINE 9.2 software to automate the objects decryption process on the base of nonlinear spectral features, *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedenii. Geodeziya i aehrofotos'emka*, 2010, No. 6, pp. 47–52 (in Russian).
9. Brezhnev R. V., Maglinets Yu. A., Information Support Technique for Solving Agricultural Land Monitoring Tasks Based on Earth Remote Sensing Data, *J. Siberian Federal Univ. Engineering and Technologies*, 2017, Vol. 10, No. 6, pp. 819–827, DOI: 10.17516/1999-494X-2017-10-6-819-827.
10. Brezhnev R. V., Maglinets Yu. A., The dynamic model of agricultural land structure on the space images in the precision agriculture tasks, *E3S Web Conf.*, 2019, Vol. 75, Article 01001, DOI: 10.1051/e3sconf/20197501001.

11. Brezhnev R. V., Maglinets Yu. A., Raevich K. V. et al., Modeling of Agricultural Spatial Objects with Heterogeneous Dynamically Changing Spatial Structure, *CEUR Workshop Proc.*, 2018, Vol. 2210, pp. 316–322, DOI: 10.18287/1613-0073-2018-2210-316-322.
12. Brezhnev R. V., Maglinets Yu. A., Raevich K. V., An Interactive Environment for Modeling the Processes of ERS Data Processing and Analysis, *CEUR Workshop Proc.*, 2020, Vol. 2534, pp. 61–67.
13. Fomelis M., Delgado Blasco J. M., Desnos Y. et al., ESA-SNAP — Stamps integrated processing for Sentinel-1 persistent scatterer interferometry, *IGARSS*, 2018, pp. 1364–1367, DOI: 10.1109/IGARSS.2018.8519545.
14. Maglinets Y., Brezhnev R., Raevich K. et al., The Scheme of Setting and Solving of Spatial Objects Monitoring Tasks, *IEEE Intern. Conf. Information Technology and Nanotechnology (ITNT)*, 2020, pp. 1–5, DOI: 10.1109/ITNT49337.2020.9253313.