

Н. Н. Корнева, вед. программист, nkorneva@romance.iki.rssi.ru,
В. Н. Назаров, нач. отдела, vnazarov@romance.iki.rssi.ru,
М. М. Могилевский, канд. физ.-мат. наук, зав. лабораторией, mogilevsky2012@gmail.com,
Институт космических исследований РАН (ИКИ РАН), г. Москва

Архитектура инструмента для визуального анализа спутниковых измерений в поисковых задачах

Рассматривается архитектура инструмента, автоматизирующего процесс визуального анализа временных рядов спутниковых измерений. Основное внимание уделено проектированию и описанию архитектуры в условиях недостаточной формализации физической постановки задачи, а также постоянно эволюционирующих нужд конечных пользователей (исследователей). Для описания архитектуры используются понятия и подходы из международного стандарта ISO/IEC/IEEE 42010:2011 Systems and software engineering — Architecture description (в Российской Федерации введен в действие в 2017 г. как ГОСТ Р 57100—2016 Системная и программная инженерия. Описание архитектуры). Рассматривается также архитектура инструмента в разрезе возможности одновременного функционирования инструмента, созданного на ее основе, в двух различных окружающих средах: в среде без доступа к наземному научному комплексу ИКИ РАН и в среде с доступом к нему.

Ключевые слова: архитектура программного обеспечения, ISO/IEC/IEEE 42010:2011, ГОСТ Р 57100—2016, точка зрения, представление, окружающая среда, визуальный анализ спутниковых измерений, поисковая задача

1. Постановка задачи

В 2004 г. французский Национальный центр космических исследований (CNES) осуществил запуск космического аппарата (КА) DEMETER. В качестве одного из научных приборов на КА был установлен прибор ICE (Instrument Champ Electrique), обеспечивающий, в частности, измерения трех электрических компонент в диапазоне крайне низких частот (КНЧ) 10 Гц ... 1,25 кГц [1]. Исследователю (ученому) необходимо выявить возмущения КНЧ-сигналов, предположительно обусловленные воздействием на ионосферу коротковолнового передатчика HAARP (эксперименты такого рода рассматривались в работах [2, 3] и др.).

Выявление (поиск) и изучение возмущений нестационарных сигналов, предположительно связанных с теми или иными событиями, — распространенная и часто возникающая задача при интерпретации результатов научного космического эксперимента. Характерной особенностью данной задачи является отсутствие строгой формализации критериев поиска, а следовательно, требуемый анализ не может быть выполнен полностью в автоматическом режиме. Роль исследователя в этом случае заключается не только в интерпретации измерений, но и в решении целого ряда задач, напрямую не связанных с работой ученого. К наиболее трудоемким из них относятся: выбор и изуче-

ние инструмента анализа данных, а также подготовка исходных данных. При этом нередко для анализа одного и того же набора данных требуется использовать различные инструменты, так как не один из них не предоставляет в полной мере требуемой функциональности. Как следствие, одни и те же наборы данных и промежуточные результаты приходится хранить в различных форматах.

В связи со всем вышперечисленным сформулируем задачу в более общем виде: даны измерения трех ортогональных компонент векторного поля на некотором временном интервале, необходимо разработать инструмент (программный продукт), автоматизирующий процесс анализа измерений на предмет выявления возмущений сигнала, предположительно связанных с теми или иными событиями. Инструмент должен позволять интеграцию в состав наземного научного комплекса (ННК) ИКИ РАН.

2. Анализ требований и способов решения

В работе [4] для исследования существенно нестационарного, многомерного (трехмерного), ограниченного во времени сигнала на предмет выявления возмущений, предположительно связанных с теми или иным событиями, было предложено использовать визуальный анализ. В данной работе понятие визуального анали-

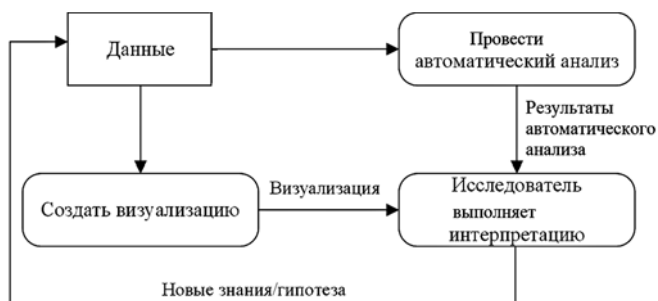


Рис. 1. Метод визуального анализа

за расширено до циклического процесса, который включает в себя не только графическое представление данных и интерпретацию полученных представлений исследователем, но и этап автоматического анализа данных с дальнейшим построением на основе его результатов визуализаций (рис. 1). Аналитические методы при этом могут быть выработаны на базе графических представлений.

Обратим внимание на тот факт, что в силу недостаточной формализации физической постановки задачи, способа выявления возмущений сигналов, а также постоянно эволюционирующих нужд конечных пользователей (исследователей) основополагающим фактором, влияющим на реализацию инструмента, является деятельность ученого, направленная на исследование временных рядов спутниковых измерений. В данной работе авторы хотят акцентировать внимание на проектировании архитектуры инструмента в разрезе данного фактора.

Проанализируем требования к каждой из составляющих процесса визуального анализа с точки зрения вышесказанного.

Данные. Формат входных данных специфицирован частично. Известно, что входные данные содержат измерения трех ортогональных компонент векторного поля в пространстве и параметры, которые позволяют ассоциировать каждое из измерений с меткой времени (время начало регистрации, частоту дискретизации). Следовательно, дальнейшее использование данных требует их предварительной обработки в соответствии с динамической спецификацией. Поскольку специфика работы исследователя такова, что одни и те же результаты предобработки неоднократно используются на протяжении длительного времени, то предлагается их сохранять в некотором внутреннем формате, оптимизированном для дальнейшего использования модулями программного комплекса.

Визуализация. Согласно постановке задачи основная цель анализа измерений состоит

в выявлении возмущений сигнала, обусловленных каким-либо событием. Таким образом, графическое представление измерений должно позволять наблюдать изменение формы сигнала во времени и пространстве. Наиболее полно, с точки зрения ученых, этой цели исследования отвечает интерактивное графическое представление результатов эксперимента в виде набора трехмерных векторов в прямоугольной системе координат (прежде всего, в силу изначальной трехмерной структуры сигнала). Поскольку изменение формы сигнала необходимо наблюдать в динамике, то предложенная модель должна быть не только интерактивна, но и должна позволять произвольную навигацию по графическим моделям.

Кроме того, исходя из анализа временных рядов измерений, регистрируемых прибором ICE на КА DEMETER, можно предположить, что векторы на изображении будут довольно тесно располагаться по отношению друг к другу, что затруднит их визуальное распознавание. Качество распознавания предлагается повысить за счет разнесения отображаемых векторов по глубине или, другими словами, за счет создания у пользователя¹ стереоэффекта. Для стереовизуализации измерений предлагается использовать эклипсный метод, реализованный на базе решения NVIDIA 3D Vision для видеокарт пользовательского сегмента (обоснование выбора приведено в работе [4]).

Автоматический анализ. На данный момент времени не представляется возможным четко зафиксировать набор алгоритмов обработки и анализа измерений. Следовательно, программный комплекс должен предоставить:

- инструментарий пользователю для разработки новых алгоритмов;
- возможность добавления разработанных пользователем алгоритмов к уже существующему множеству;
- возможность комбинации пользователем уже существующих алгоритмов при проведении анализа измерений.

В рамках данного программного комплекса исходя из целей анализа (выявление и изучение временных особенностей сигналов) предлагается разбить все множество алгоритмов на две группы:

- поисковые алгоритмы;
- фильтры обработки.

¹ Здесь и далее по тексту пользователь и конечный пользователь употребляются как синонимы.

Поисковые алгоритмы должны обеспечивать возможность поиска участка на массиве измерений согласно заданному критерию поиска. Разработка нового алгоритма данной группы заключается в формировании нового типа критерия поиска. Предназначение фильтров обработки состоит в выделении из данных только тех, которые нужны исследователю, причем в отличие от поисковых алгоритмов фильтры модифицируют сигнал. В качестве примера фильтра обработки можно привести алгоритм расчета оценки математического ожидания амплитуды сигнала для исследуемых временных интервалов.

Этап автоматического анализа тесно связан с этапом визуализации в том смысле, что пользователю должна быть предоставлена возможность визуализации результатов автоматического анализа. Формы визуализации определяются типом полученных результатов и прорабатываются на этапе добавления нового алгоритма в систему. Для тех алгоритмов, результатом работы которых являются трехмерные векторы, должна быть предусмотрена возможность трехмерной визуализации результатов с предоставлением всего набора средств для работы с этой визуализацией (стереовизуализация, интерактивность, навигация). Для визуализации результатов поисковых алгоритмов также предлагается табличная форма.

Общий анализ исследования сигналов методом визуального анализа показывает, что результаты работы этапа автоматического анализа, а также результаты интерпретации графических моделей исследователем по отношению к исходным данным могут представлять как самостоятельную ценность, так и ценность в разрезе текущей задачи, решаемой исследователем. Следовательно, пользователю должна быть предоставлена возможность сохранения результатов, что требует разработки форматов хранения.

Кроме требований, обусловленных самой сущностью процесса визуального анализа, существенным является наличие возможности интеграции инструмента в ННК ИКИ РАН. Реализация этого требования должна подразумевать простоту переключения из режима автономной работы в режим, когда инструмент "подключен" к ННК для конечного пользователя. Такое условие обусловлено тем, что часть результатов научных космических экспериментов на данный момент размещена исключительно в архивах зарубежных космических агентств.

3. Архитектура программного комплекса

Согласно международному стандарту [5] (в Российской Федерации введен в действие в 2017 г. как [6]) для выражения архитектуры с позиции определенных интересов используются представления. Представление соответствует определенной точке зрения, устанавливающей соглашения для построения, интерпретации и использования данного представления. Для выражения архитектуры инструмента с позиции деятельности ученого по исследованию сигнала методом визуального анализа зададим точку зрения "Рабочий процесс". Формально данная точка зрения характеризуется следующими свойствами:

а) заинтересованные стороны: конечные пользователи, разработчики;

б) интересы: рабочие процессы системы, где рабочий процесс — это серия задач для получения результата, имеющего ценность для конечного пользователя;

в) тип модели: диаграмма деятельности UML (язык моделирования UML).

Представление, соответствующее точке зрения "Рабочий процесс", приведено на рис. 2. Для его создания на основе анализа требований, рассмотренных в п. 2, была проведена декомпозиция деятельности исследователя на рабочие процессы. Выделение набора задач в рабочий процесс осуществлялось таким образом, чтобы, с одной стороны, этот процесс реализовывал логически законченный с точки зрения ученого набор задач по исследованию сигнала, а с другой стороны, мог бы выполняться самостоятельно или же параллельно с другими типами процессов. Такая декомпозиция позволит упростить адаптацию системы к возможным изменениям в процессе анализа.

Как видно из диаграммы, в результате декомпозиции было выделено четыре типа рабочих процессов (на диаграмме каждому из них присвоен номер). Процессы первого типа (номер 1 на диаграмме) являются вспомогательными, тогда как все остальные типы реализуют набор действий, необходимый для исследования сигнала методом визуального анализа. Рассмотрим каждый из типов более подробно.

3.1. Рабочий процесс № 1

Схема работы процесса состоит из нескольких последовательных действий. Начинается работа с подключения к источнику данных. В контексте данной архитектуры источник данных — это

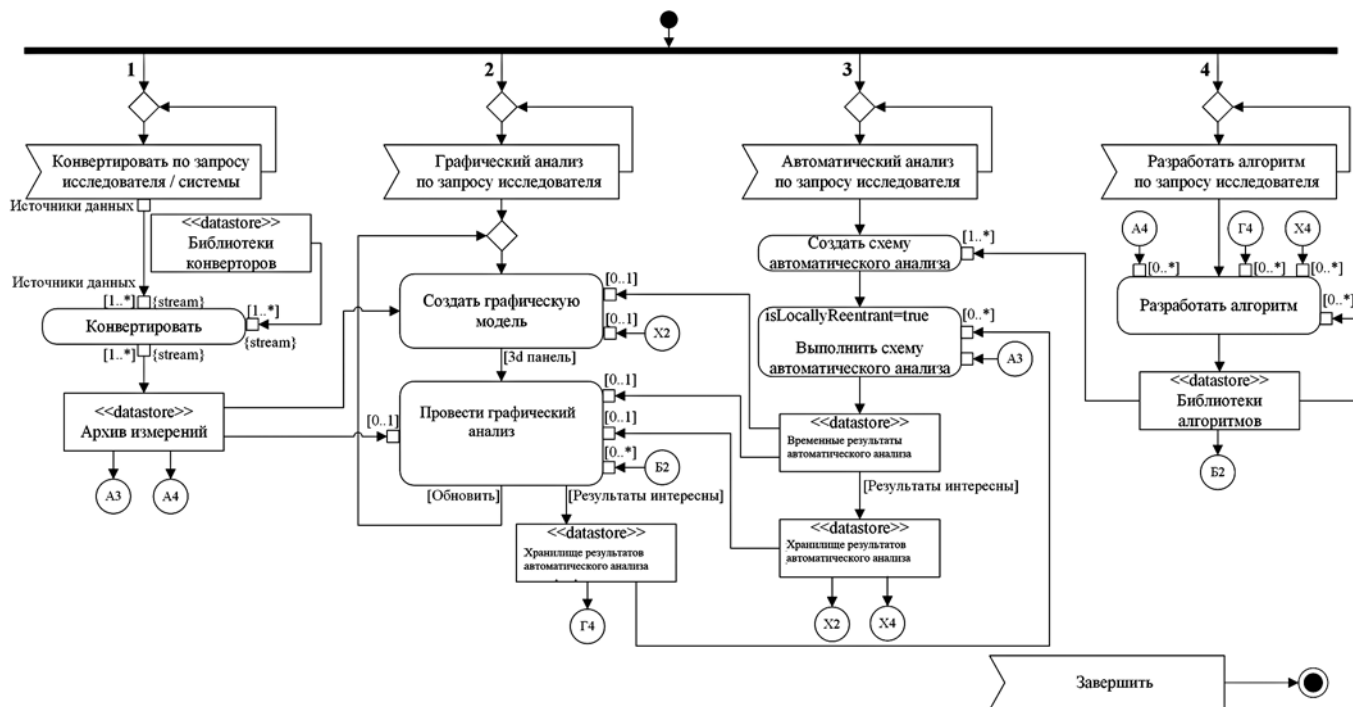


Рис. 2. Представление (точка зрения "Рабочий процесс")

набор данных, их формат (опционально) и сведения, необходимые для доступа к ним. Затем на основании формата данных (задается вручную, если не специфицирован в источнике) выбирается конвертор. Результат работы конвертора — это набор данных во внутреннем формате. Внутренний формат представляет собой контейнер, состоящий из компонентов. Например, бинарный компонент для экспериментальных данных содержит массив векторов вида $[x; y; z]$, где x, y, z — перекодированные (в случае необходимости) измерения из источника данных. Структура контейнера определена стандартом ECMA-376 OpenXML [7], при этом для конечного пользователя такой контейнер выглядит как один файл. Сохранение полученного контейнера в архив измерений — заключительная операция рассматриваемого рабочего процесса.

Вызов процессов данного типа может быть осуществлен как пользователем, так и системой при подключении к источнику данных. А расширение поведения процесса в смысле добавления нового формата входных данных реализуется за счет подключения к системе новых конверторов.

3.2. Рабочий процесс № 2

Рабочий процесс второго типа автоматизирует одну из центральных функций исследования сигнала методом визуального анализа:

создание интерактивных визуализаций данных и интерпретацию полученных графических моделей исследователем по отношению к исходным данным. Общая схема работы процесса заключается в циклическом выполнении двух этапов: создания графической модели некоего набора данных и их анализа пользователем. Рассмотрим каждый из них.

Этап 1. Создание графической модели. Данный этап инициируется пользователем и заключается в преобразовании данных к графической модели. Выбор способа преобразования реализуется за счет выбора соответствующей панели визуализации. Под панелью визуализации в данной архитектуре понимается не только само графическое представление данных, но и набор функций для управления визуализацией. Организация работы этапа посредством панелей предоставляет ряд преимуществ: во-первых, в случае необходимости позволяет расширить функциональность программного комплекса за счет добавления новых панелей; во-вторых, дает возможность визуализировать одни и те же данные различными способами.

Исходя из анализа требований и типов данных предусматривается несколько типов панелей визуализации:

- 3D-панель;
- панель состояний;
- информационная панель;
- панель результатов поиска.

3D-панель используется для визуализации временного ряда измерений из архива измерений и результатов работы поиска (см. подробнее п. 3.3) в виде набора трехмерных векторов. Изображение трехмерного объекта на экране выполняется методом центрального проецирования. Для работы с визуализацией в панели предусмотрена возможность ее масштабирования в нескольких режимах (масштаб; подогнуть под экран; подогнуть под модель) и вращения. Также 3D-панель позволяет организовать просмотр визуализации в полноэкранном режиме и стереорежиме. Панель состояний предназначена для вывода кратких сведений о временном ряде, визуализируемом в 3D-панели. К таким сведениям относятся временной интервал в формате с/по и его продолжительность. Панель позволяет пользователю самостоятельно определять формат вывода сведений (всемирное время или номер отсчета). Информационная панель отображает сведения о массиве анализируемых данных (продолжительность, частота дискретизации, сведения о примененных методах автоматического анализа и др.). Панель результатов поиска используется для представления результатов поиска в табличной форме.

Этап 2. Графический анализ. Данный этап выполняется полностью в ручном режиме пользователем и заключается в интерпретации визуализаций из 3D-панели, полученных на этапе 1. Для снижения трудоемкости графического анализа системой предоставляется два типа инструментов: инструменты для выборки измерений и фильтры отображения. К инструментам первой группы относятся инструменты навигации (позиционирование по времени / номеру отсчета; сдвиг с шагом по временному ряду измерений; движение по результатам поиска) и инструмент изменения размера выборки. Инструменты данного типа инициируют новый цикл рабочего процесса, или, иными словами, можно сказать, что результатом работы инструмента является визуализация в 3D-панели, построенная на новом наборе данных. Инструменты второй группы (фильтры отображения) влияют только на вид визуализации в 3D-панели, они также инициируют новый цикл рабочего процесса, однако результатом работы фильтра отображения является новая визуализация, построенная на том же наборе данных. Архитектура программного комплекса предполагает возможность комбинации пользователем инструментов друг с другом как из одной, так и из разных групп.

В случае необходимости исследователем может быть принято решение о сохранении результатов графического анализа. Операция сохранения не прерывает ни одного из типов рабочих процессов, т. е. после инициирования сохранения пользователь сможет продолжить работу в системе в обычном режиме. Форматы хранения результатов графического анализа зависят от предполагаемого способа использования данных результатов в дальнейшем. Так, если результаты предполагается использовать в другом программном обеспечении, то их можно сохранить в исходном формате (формате, специфицированном в источнике данных). Для тех случаев, когда результаты графического анализа будут использоваться в рамках данного программного комплекса, они сохраняются во внутреннем формате с добавлением новых компонентов (например, так сохраняется шаблон, используемый в дальнейшем для поиска по шаблону). Одни и те же результаты графического анализа могут быть сохранены пользователем в разных форматах. Добавление новых форматов хранения позволит расширить смысловую нагрузку результатов графического анализа (на данный момент под результатами понимается какой-либо участок сигнала, представляющий ценность для исследователя).

3.3. Рабочий процесс № 3

Рабочие процессы данного типа инициируются пользователем, но выполняются полностью в автоматическом режиме. Общая схема работы процесса заключается в автоматической обработке временного ряда измерения из архива измерений способом, определенным исследователем в схеме автоматического анализа. Под схемой автоматического анализа понимается набор алгоритмов из библиотеки алгоритмов и порядок применения этих алгоритмов к некоторому набору данных. Результатом выполнения схемы автоматического анализа является новый набор данных, который в случае необходимости может быть визуализирован. В архитектуре программного комплекса концептуально заложена эта возможность: добавление новой формы представления реализуется за счет добавления новой панели визуализации. Кроме того, полученный набор данных по запросу пользователя может быть сохранен для дальнейшего использования. Операция сохранения, как и в случае с сохранением результатов графического анализа, не прерывает ни одного из типов рабочих процессов.

Расширение данного процесса реализуется за счет добавления новых алгоритмов в библиотеки алгоритмов.

Важным (в разрезе поставленной задачи) частным случаем рабочего процесса третьего типа является рабочий процесс, в котором схема автоматического анализа состоит только из поисковых алгоритмов. Назначение такого процесса заключается в поиске участка на массиве измерений согласно заданным критериям поиска. Результатом работы процесса является временной ряд измерений, получаемый из исходного ряда путем исключения участков, не отвечающих критериям поиска. Поскольку структура выходного ряда не отличается от входного, то в системе предусмотрена возможность визуализации результатов поиска в виде набора трехмерных векторов посредством 3D-панели. Как следствие, у исследователя появляется возможность графического анализа результатов поиска. Кроме того, выход процесса можно интерпретировать как набор участков, тогда результаты можно представить в табличной форме, где каждая строка — это описатель найденного участка (время начала и конца). Формат сохранения результатов поиска подразумевает сохранение только параметров найденных участков (без самих отсчетов) и ссылок на расположение временного ряда измерений. Выбранный формат позволяет избавиться от избыточности данных (отсчеты хранятся только в одном месте).

3.4. Рабочий процесс № 4

Основу работы рабочего процесса третьего типа, а также графического анализа (см. п. 3.2, этап 2) составляют алгоритмы. При этом, как следует из анализа требований, на данный момент времени не представляется возможным четко зафиксировать требуемый набор алгоритмов. Рабочий процесс четвертого типа призван обеспечить пользователя функционалом для разработки новых алгоритмов. Однако создание подобного функционала с нуля видится довольно проблематичным, в первую очередь, из-за того, что в силу неопределенности задачи невозможно предсказать, какой математический аппарат может понадобиться разработчику алгоритмов. На данном этапе для этой цели прорабатывается вариант использования специализированных математических пакетов (например, MATLAB) или же связок типа интерпретируемый язык программирования плюс редактор плюс библиотека для научных

расчетов (например, Python + IPython + SciPy). Тогда рабочий процесс четвертого типа должен будет обеспечить пользователя всеми необходимыми данными, а также предоставить возможность использования уже имеющихся в системе алгоритмов. На выходе рабочего процесса должен быть получен готовый алгоритм, который затем будет интегрирован в систему (желательно с минимальным привлечением ручного труда).

4. Программный комплекс как часть ННК ИКИ РАН

Основу работы современного ННК составляет центр хранения и обработки данных. В ИКИ РАН под таким центром (далее Центр данных) понимают информационную систему, состоящую из средств хранения, обработки и анализа тематической информации, а также средств тактического и стратегического планирования космических исследований. Концепция архитектуры Центра данных, предложенная руководителем отдела Наземных научных комплексов ИКИ РАН Назаровым В. Н., подразумевает иерархическую структуру, состоящую из трех основных уровней:

- технического — к данному уровню относятся технические средства хранения и обработки данных, а также средства связи;
- функционального — средства информационной поддержки научных космических операций, прежде всего хранилище данных и средства обработки данных;
- экспертного — специалисты в области космических операций, фундаментальных и прикладных исследований, поддерживающие качество информации (полноту, достоверность, ценность информации и др.).

Тогда согласно данной модели программный продукт относится к средствам обработки данных функционального уровня, а в соответствии с терминологией [5] Центр данных является окружающей средой инструмента.

Рассмотренная в п. 3 архитектура программного комплекса позволяет инструменту, разработанному на ее основе, работать в двух различных окружающих средах: в среде без доступа к Центру данных и в среде с доступом к нему. При этом в архитектуре уже реализовано требование наличия возможности переключения между автономным режимом и режимом работы в составе Центра данных для конечного пользователя. Реализуется это за счет того, что

некоторые хранилища данных и библиотеки (см. рис. 2) рассматриваются как внутренние средства инструмента в автономном режиме и как внешние — в противном случае. В последнем варианте все внешние средства относятся к средствам функционального уровня. На данном этапе проработки архитектуры Центра данных к внешним средствам предлагается отнести: Хранилище результатов графического анализа, Хранилище результатов автоматического анализа и Библиотеки алгоритмов. Источники данных являются внешними для инструмента в обоих режимах.

Для моделирования потоков данных между инструментом и средствами функционального уровня Центра данных воспользуемся диаграммой потоков данных. Данная модель позволяет идентифицировать элементы окружающей среды (внешние сущности), используемые данные и потоки этих данных между системой и внешними сущностями. Все эти аспекты важны для исследователя в том смысле, что позволяют понять, к каким ресурсам Центра данных система, а соответственно, и сам пользователь может получить доступ. Диаграмма потоков данных приведена на рис. 3. Рассмотрим ее внешние сущности и способы взаимодействия инструмента с ними.

Хранилища данных. Занимают центральное место среди средств функционального уровня. Можно выделить два вида взаимодействий инструмента с ними:

- 1) по типу "потребитель", когда система запрашивает данные из хранилищ;
- 2) по типу "поставщик", когда программный комплекс записывает данные в хранилища.

Во взаимодействиях первого типа, как видно из диаграммы, могут участвовать: источники данных, хранилище результатов графического анализа и хранилище результатов автоматического анализа. Организация взаимодействия зависит от форматов запрашиваемых данных и в общем случае требует согласование форматов обмена, однако в частном случае рассогласование может быть устранено за счет добавления

новых форматов в инструмент. Взаимодействие с источниками данных осуществляется через архив измерений, который наполняется рабочим процессом первого типа. Способы организации архива измерений зависят от технических характеристик доступа к источнику данных, а в случае совпадения внутреннего формата с форматом источника данных архив измерений можно вообще исключить из рассмотрения (данные будут напрямую запрашиваться из источника данных).

Взаимодействие по типу "поставщик" осуществляется системой по запросу пользователя и представляет собой запись значимых результатов в хранилище результатов графического анализа и хранилище результатов автоматического анализа. Значимость результатов определяется исследователем и в общем случае зависит от времени. Так, допустим, некоторые результаты поиска могут быть значимыми только в разрезе получения других результатов, а следовательно, представлять интерес лишь до тех пор, пока этот результат не будет достигнут. Таким образом, способ организации хранилищ данного типа оказывает влияние на архитектуру инструмента в том смысле, что возможно потребует от инструмента наличие возможности сохранения результатов анализа независимым от Центра данных способом, что уже предусмотрено архитектурой инструмента.

Средства обработки данных. Для обработки измерений и создания новых алгоритмов рабочими процессами второго, третьего и четвертого типа используются библиотеки алгоритмов. Выделение данного средства обработки во внешнюю сущность, как представляется, позволит разделять алгоритмы между различными системами обработки и анализа. Взаимодействие инструмента с выполняемым алгоритмом из библиотеки алгоритмов осуществляется через наборы данных, которые получают на его выходе. При этом выполняться алгоритм может средствами технического уровня Центра данных, что при правильной организации работ позволит повысить эффективность работы исследователя.

В заключение заметим, что в дальнейшем рассмотренную диаграмму можно включить в состав представления, которое очерчивает границы системы и отражает ее взаимодействия с ее окружающей средой для всех заинтересованных сторон (в основном конечных пользователей и разработчиков). Для конструирования такого представления можно воспользоваться точкой зрения "Контекст" из работы [8].



Рис. 3. Инструмент как часть Центра данных

Заключение

Основным результатом работы является архитектура инструмента, автоматизирующего процесс визуального анализа временных рядов спутниковых измерений. В силу недостаточной формализации физической постановки задачи, а также постоянно эволюционирующих нужд исследователей серьезный упор был сделан на ее проектирование в разрезе деятельности ученого по исследованию сигнала. Данный подход позволил:

- провести декомпозицию процесса анализа сигнала на более простые процессы. Каждый из них, с одной стороны, реализует логически законченный набор задач по исследованию сигнала, а с другой стороны, поддается автоматизации, может выполняться самостоятельно или же параллельно с другими типами процессов, а результаты его работы зависят только от исходных данных и не зависят от работы других процессов;
- выявить и заложить в архитектуру механизмы наращивания функционала. Расширение функциональности осуществляется за счет добавления новых панелей визуализации (исследователю требуется новый тип графической модели анализируемых данных), алгоритмов (имеющиеся алгоритмы не отвечают целям исследования) и форматов данных (добавление новых источников данных, изменение смысловой нагрузки результатов анализа);
- выявить и заложить в архитектуру механизмы настройки процесса анализа. Под настройкой понимается, прежде всего, возможность комбинации имеющихся алгоритмов в схемах автоматического анализа, а также возможность для исследователя определять порядок (с некоторыми ограничениями) вызова рабочих процессов;
- выявить и заложить в архитектуру необходимость одновременного функционирования инструмента в двух различных окружающих средах: без доступа к Центру данных и с доступом к нему.

Для описания архитектуры с позиции деятельности ученого при исследовании сигнала методом визуального анализа были использованы понятия и подходы из работы [5]. Все полученные при этом продукты (диаграммы, решения, обоснования и т. п.), с одной стороны, понятны конечным пользователям, а с другой стороны, единообразным образом могут быть включены в документацию по разработке и со-

проведению инструмента, обеспечивая тем самым устойчивую платформу для его развития и внедрения.

В заключение отметим, что предложенная архитектура на данный момент в полной мере учитывает только специфику спутниковых измерений и самой физической постановки задачи. Это выражается в наличии:

- специализированного типа панели визуализации — 3D-панели, которая отвечает целям исследователя;
- функционала для разработки ученым новых методов анализа в рамках уже функционирующего инструмента, что крайне необходимо в ситуации отсутствия физических моделей исследуемых явлений;
- возможности добавления новых форматов входных данных в уже функционирующую реализацию (разработка новых методов анализа нередко требует от ученого анализа измерений с различных приборов различных КА, которые хранятся в различных форматах);
- возможности переключения из режима автономной работы в режим, когда инструмент "подключен" к ННК ИКИ РАН (часть результатов научных космических экспериментов на данный момент размещена исключительно в архивах зарубежных космических агентств).

Однако все вышеперечисленное благодаря возможности расширения функциональности и поведения уже функционирующей реализации предложенной архитектуры не препятствует интеграции инструмента в любую другую отрасль знаний, где есть необходимость в поиске связей между переменными, когда представления об этих связях отсутствуют или недостаточны.

Список литературы

1. ICE Experiment — Electric Field Instrument [Электронный ресурс]. URL: <http://demeter.cnrs-orleans.fr/> (дата обращения 25.04.2019).
2. Milikh G. M., Vartanyan A., Papadopoulos K., Parrot M. Focusing of HF radio-waves by ionospheric ducts // *J. Atmos. Solar-Terr. Phys.* 2011. V. 73, N. 13. P. 1647-1680. doi:10.1016/j.jastp.2011.02.022.
3. Mogilevsky M., Chuginin D., Moiseenko I., Romantsova T. Magnetospheric modification caused by HF heater // *Proc. 40th COSPAR Scientific Assembly. Moscow, 2—10 August 2014.* C5.1-0016-14.
4. Корнева Н. Н., Могилевский М. М., Назаров В. Н. Визуальный анализ как способ интерпретации результатов спутниковых ионосферных измерений для поисковых задач // *Геомагнетизм и аэронавигация.* 2016. Т. 56, № 3. doi:10.7868/S0016794016030093.

5. **ISO/IEC/IEEE 42010:2011** Systems and software engineering — Architecture description / 1st ed. 2011.

6. **ГОСТ Р 57100—2016** Системная и программная инженерия. Описание архитектуры. М.: Стандартинформ. 2016.

7. **Standard ECMA-376** Office Open XML File Formats. Part 2: Open Packaging Conventions (OPC) / 1st ed. 2006.

8. **Rozanski N., Woods E.** Software systems architecture: working with stakeholders using viewpoints and perspectives. 2nd ed. Addison-Wesley, 2012. 679 c.

N. N. Korneva, Lead Programmer, nkorneva@romance.iki.rssi.ru,
V. N. Nazarov, Chief of Department, vnazarov@romance.iki.rssi.ru,
M. M. Mogilevsky, Chief of Laboratory, mogilevsky2012@gmail.com,
Space Research Institute, Russian Academy of Sciences, Moscow

The Instrument Architecture for Visual Analysis of Satellite Measurements in Exploratory Problems

The paper considers the architecture of the instrument that automates the process of visual analysis of time series of satellite measurements. Most of the focus is on design and description of the architecture under conditions of insufficient formalization of the physical problem definition, as well as constantly evolving of end users (researchers) needs. Concepts and principles of the international standard ISO/IEC/IEEE 42010:2011 Systems and software engineering — Architecture description (in the Russian Federation was brought into force in 2017 as GOST R 57100-2016 Системная и программная инженерия. Описание архитектуры) are used for the architecture describing. The instrument architecture is also considered in terms of the possibility of simultaneous functioning of the instrument developed on its basis in two different environments: in an environment without access to the Space Research Institute science ground segment and in an environment with access to it.

Keywords: software architecture, ISO/IEC/IEEE 42010:2011, GOST R 57100-2016, viewpoint, view, environment, visual analysis of satellite measurements, exploratory problem

DOI: 10.17587/it.26.88-96

References

1. **ICE Experiment** — Electric Field Instrument [Electronic source], available at: <http://demeter.cnrs-orleans.fr/> (access date 25.04.2019).

2. **Milikh G. M., Vartanyan A., Papadopoulos K., Parrot M.** Focusing of HF radio-waves by ionospheric ducts, *J. Atmos. Solar-Terr. Phys.*, 2011, vol. 73, no. 13, pp. 1647–1680. doi:10.1016/j.jastp.2011.02.022.

3. **Mogilevsky M., Chuginin D., Moiseenko I., Romantsova T.** Magnetospheric modification caused by HF heater, *Proc. 40th COSPAR Scientific Assembly*, Moscow, 2–10 August 2014, C5.1-0016-14.

4. **Korneva N. N., Mogilevskii M. M., Nazarov V. N.** Visual analysis as a method of interpretation of the results of satellite ionospheric measurements for exploratory problems, *Geomagnetism and Aeronomy*, 2016, vol. 56, no. 3, doi:10.1134/S0016793216030099 (in Russian).

5. **ISO/IEC/IEEE 42010:2011** Systems and software engineering — Architecture description, 2011.

6. **GOST R 57100-2016** Systems and software engineering. Architecture description, Standartinform, 2016 (in Russian).

7. **Standard ECMA-376** Office Open XML File Formats. Part 2: Open Packaging Conventions (OPC), 2006.

8. **Rozanski N., Woods E.** Software systems architecture: working with stakeholders using viewpoints and perspectives, Addison-Wesley, 2012. 679 p.