

УДК 629.78:522.59

СОЗДАНИЕ И РАЗВИТИЕ ПРОГРАММНОГО КОМПЛЕКСА ДЛЯ ПЛАНИРОВАНИЯ НАБЛЮДЕНИЙ В ПРОЕКТЕ “РАДИОАСТРОН”

© 2015 г. В. Е. Якимов

*Астрокосмический центр Физического института им. П.Н. Лебедева РАН, г. Москва
yakimov@asc.rssi.ru*

Поступила в редакцию 16.12.2013 г.

В ходе подготовки к запуску космического радиотелескопа в качестве элемента наземно-космического радиоинтерферометра, проект “РадиоАстрон”, было разработано программное обеспечение для планирования наблюдений радиоисточников. Создан набор инструментов для решения различных задач моделирования космической миссии в контексте радиоинтерферометрии со сверхдлинными базами, когда один из радиотелескопов запущен в космос. Описана структура программного комплекса и приложения, которые позволяют выполнить планирование наблюдений источников с помощью наземно-космического радиоинтерферометра.

DOI: 10.7868/S0023420615030085

1. ВВЕДЕНИЕ

В последнее десятилетие прошлого века в связи с разработкой двух проектов наземно-космических радиоинтерферометров в России (“РадиоАстрон”) и Японии (VSOP) возникла задача создания программного обеспечения для решения различных задач по моделированию условий проведения наблюдений с использованием этих интерферометров. Такие программные пакеты были разработаны в России, США, Канаде и Венгрии. Это ASTRON, RASS (Л.И. Гурвиц, В.Е. Якимов, АКЦ ФИАН, Россия), Fakesat (D.W. Murphy, Jet Propulsion Laboratory, USA), RPIS (A.R Taylor, University of Calgary, Canada) и SPAS (I. Fejes, SGO, Hungary) [1–3].

Специфика радиоинтерферометров с телескопом, запущенным в космос, предъявляет особые требования к планированию и проведению наблюдений с таким инструментом. Для правильной и эффективной работы всех элементов интерферометрической системы необходимо, чтобы в течение наблюдений выполнялся определенный набор условий на ориентацию космического телескопа и других устройств на борту спутника, а также связанных с ними наземных средств поддержки. В случае интерферометра “РадиоАстрон” эти условия детально обсуждаются в статье [4]. Учет ограничений представляет важнейшую часть функционала программного обеспечения для планирования наблюдений с наземно-космическим радиоинтерферометром.

В период подготовки к запуску в космос радиотелескопа проекта “РадиоАстрон” для решения различных задач, связанных с моделированием наблюдений, использовались два пакета — RASS

(RadioAstron Scheduling Software) и Fakesat. Имея практически идентичный функционал, данные пакеты отличаются в одном важном аспекте. Программный пакет RASS создавался и развивался для решения различных задач моделирования прогнозируемых ситуаций, которые могли возникнуть в процессе реализации проекта “РадиоАстрон”. По этой причине акцент был сделан на возможности детального анализа конфигурации всех элементов интерферометра. Пакет Fakesat создавался как инструмент в помощь наблюдателю, планирующему наблюдения исследуемого радиоисточника с наземно-космическим радиоинтерферометром. В связи с этим пакет снабжен множеством визуальных средств для облегчения составления заявки на планируемые наблюдения.

Пакет Fakesat был создан в Jet Propulsion Laboratory для работы на компьютерах фирм SUN/Hewlett Packard/DEC под управлением ОС Solaris/HP-UX/Open VMS, и он написан на диалекте языка программирования Fortran, не поддерживаемом стандартом ANSI f77. В ходе практической работы с пакетом Fakesat в Астрокосмическом центре возникла необходимость его доработки с тем, чтобы можно было использовать пакет на компьютерах с операционной системой Linux. Однако прямая компиляция оригинального кода с помощью компилятора g77 невозможна по указанным выше причинам. Поэтому в 1999 г.¹

¹ Промыслов В.Г., Якимов В.Е., Сергеев А.Н. Модернизация пакета программ Fakesat (JPL) для моделирования наблюдений радиоисточников с использованием наземно-космических радиоинтерферометров // Научно-технический отчет. АКЦ ФИАН. 1999.

была выполнена модернизация пакета с целью инсталляции его на компьютерах с ОС Linux.

Следующий важный этап модернизации пакетов RASS и Fakesat связан с переходом в проекте “РадиоАстрон” на орбиту с периодом обращения космического радиотелескопа в пределах 8–9 суток и высоким апогеем. Это обстоятельство потребовало глубокой перестройки пакетов как на алгоритмическом уровне, так и на уровне средств визуализации конечных результатов работы пакетов. В случае пакета Fakesat такая работа была проделана сотрудником АКЦ В.И. Журавлевым [5].

Пакет RASS в процессе использования для решения в рамках проекта различных задач моделирования претерпел множество модификаций. Фактически был создан новый программный комплекс для решения модельных задач в астрономии: SSAM – Software System for Astronomical Modelling. В новом пакете реализованы следующие принципы организации кода – модульность, расширяемость и возможность генерации бинарных файлов приложений для операционных систем Linux и MS Windows практически на основе одной и той же кодовой базы за исключением вызовов системных функций. Кроме того, в пакете осуществлена возможность чтения исходных данных в свободном формате независимо от типа их представления во входном потоке. Подробнее с пакетом можно ознакомиться на информационном ресурсе проекта “РадиоАстрон” webinet.asc.rssi.ru/software/AstroCom.

2. ОПИСАНИЕ ПРОГРАММНОГО КОМПЛЕКСА SSAM

На самом верхнем уровне комплекс состоит из двух директорий – data и AstroCom. Первая директория содержит множество поддиректорий с начальными данными для различных приложений, а также поддиректории для конечных результатов их работы.

Вторая директория содержит по существу “движок” комплекса, и она включает командную оболочку, приложения, разработанные в рамках комплекса SSAM, и набор библиотек. Возможно наличие еще двух поддиректорий bin и lib для внешних приложений и поддиректории scripts для сценариев. Внешние приложения и сценарии, если в этом есть необходимость, запускаются в AstroCom под управлением аналога командной оболочки, которая является, по существу, одним из внутренних приложений комплекса.

Любое приложение, разработанное для комплекса SSAM, на структурном уровне имеет идентичное устройство, включающее два конфигурационных файла, главный файл программы, написанный на стандартном ANSI f77, и набор библиотек, задающих функционал приложе-

ния. Язык программирования Fortran 77 использован в целях совместимости с обширной библиотекой программ для научных исследований, разработанных в предыдущие годы. В случае генерации приложения для операционной системы MS Windows главная программа может содержать расширения к стандарту языка, характерные для компилятора Fortran PowerStation.

Имена конфигурационных файлов одинаковы в любом приложении: “app.cfg” и “task.ini”. Оба файла являются текстовыми со строками, содержащие данные необходимые для конфигурации и определения текущего состояния приложения. Формат представления данных типичный для конфигурационных файлов: “key = value” или “key = value_1 value_2 ...value_n”. Тип данных в переменной key – текстовый. Допустимые типы для переменной value – текстовый, целочисленный или вещественный (двойной точности), размещенных в строке без ограничений на позицию и порядок следования. Для оптимизации чтения конфигурационных файлов строки с ключами могут быть организованы в секции.

Файл “app.cfg” содержит глобальные фактические параметры, определяющие работу приложения в целом. Кроме того, в этом файле может быть указано состояние приложения для текущей задачи, заданной файлом “task.ini”. Например, выбрав значение ключа “mode = ground”, “mode = space” или “mode = ground + space” в файле “app.cfg” приложения zROSSAT (см. ниже), задача будет решена для наземной сети радиотелескопов, космического сегмента или наземно-космического радиоинтерферометра в целом соответственно. Файл “task.ini” включает фактические параметры для текущей задачи.

Файл приложения на языке Fortran 77 содержит только главную программу и несколько вспомогательных программ, определяющих специфику приложения. И вновь, как и случае конфигурационных файлов, структурно все приложения имеют практически идентичные главные программы, отличие только в вызовах процедур из подгружаемых библиотек, что и определяет функционал конкретного приложения. Каждое приложение содержит повторно используемый код на уровне главной программы. Унификация структур различных приложений облегчает их сопровождение в течение жизненного цикла и разработку новых приложений.

И последнее, что надо отметить при общем описании программного комплекса SSAM, это правила наименования приложений внутри директории AstroCom. Имя любого приложения, имеющее осмысленное звучание, определяемое спецификой приложения, содержит префикс в виде одного из символов x, y или z. Префикс x в имени приложения указывает на то, что оно име-

ет графический интерфейс, graphical user interface или GUI. Префикс *y* в имени имеет только одно приложение — *yash*. Это особое приложение, командная оболочка, под управлением которой можно запустить на исполнение несколько приложений в пакетном режиме. Префикс *z* в имени свидетельствует о том, что в приложении используется интерфейс командной строки, *command-line interface* или CLI.

3. ПЛАНИРОВАНИЕ НАБЛЮДЕНИЙ В ПРОЕКТЕ “РАДИОАСТРОН”

Приложение *zROSSAT* программного комплекса *SSAM* является естественным развитием пакета *RASS* в рамках нового подхода к разработке программного обеспечения для планирования наблюдений.

Планирование наблюдений радиоисточников с использованием наземно-космического интерферометра “РадиоАстрон”, как это представлялось в предпусковой период подготовки проекта, состоит из несколько этапов. Ниже описан начальный и заключительный этапы процедуры планирования. Эти этапы являются достаточными в случае так называемой стандартной моды процедуры планирования. В исключительных, нетипичных случаях конфигурации наземно-космического радиоинтерферометра возникает необходимость детального анализа условий видимости исследуемого источника различными системами интерферометра и выработки приемлемого сценария проведения наблюдений. Для этого приложение *zROSSAT* имеет специальные опции, которые задаются в файле “*app.cfg*”.

На первом этапе планирования для даты, определенной в файле “*task.ini*”, просматривается вся небесная сфера или часть ее. Соответствующая опция и необходимые параметры задаются в файле “*app.cfg*”. Здесь уместно прокомментировать стиль выходных файлов, содержащих промежуточные или окончательные результаты любого приложения комплекса *SSAM*. Как правило, эти файлы сопровождаются заголовком с текстовой информацией, поясняющей смысл полученного результата. Важно отметить, что результат работы любого приложения может служить начальными данными для работы другого приложения. Программный комплекс располагает соответствующими средствами.

В узлах сетки небесной сферы, определяемых экваториальными координатами *R.A.*, *Dec*, представлены интервалы времени в часах, в течение которых возможна работа космического сегмента (космический телескоп и связанная с ним одна из станций приема научной информации) радиоинтерферометра “РадиоАстрон”. Необходимо подчеркнуть, что данная опция позволяет лишь вы-

явить возможность наблюдения источника с координатами *R.A.*, *Dec*. Дело в том, что на этом этапе учитываются только ограничения на положение Солнца и направление в сторону рабочей станции приема информации на Земле, которые определяются ориентацией космического телескопа, наблюдающего исследуемый источник. Эти ограничения самые существенные из большого списка, представленных в Протоколе функциональных ограничений [4].

На следующем этапе планирования приложение *zROSSAT* выполняется для избранного источника. Его экваториальные координаты указываются в файле “*task.ini*”. Кроме того, в этом файле приводятся дата наблюдения (начало и конец), имя файла, содержащего вектора состояния прогнозируемой орбиты космического телескопа для интервала времени, включающего планируемое наблюдение, а также имена станций приема научной информации и наземных радиотелескопов, выбранных для участия в совместной работе.

Ключевой информацией на этом этапе является интервал времени, когда возможна совместная работа космического радиотелескопа вместе со станцией приема научной информации в Пушино или *Green Bank (USA)*. Если наблюдение избранного источника космическим телескопом в указанную дату подтверждается, тогда следует искать совместные временные интервалы видимости источника космическим и наземными радиотелескопами. Это может быть сделано визуально (соответствующий файл генерируется приложением) или программными средствами. В случае отсутствия видимости источника космическим радиотелескопом, хотя на первом этапе для неполного набора ограничений была обнаружена возможность наблюдения источника, в приложении *zROSSAT* предусмотрены средства для выяснения причины отсутствия видимости.

Для большинства конфигураций (взаимные положения исследуемого источника, Солнца, Луны и Земли, возможность участия выбранных наземных радиотелескопов в совместной работе с космическим сегментом радиоинтерферометра) достаточно учесть ограничение на положение Солнца и выяснить, если ли связь с какой-либо станцией приема научной информации. В этих случаях второй этап является последним в процедуре планирования.

В предпусковой период подготовки проекта “РадиоАстрон” выполнено большое количество задач по моделированию условий видимости радиоисточников с учетом всех ограничений, сформулированных в Протоколе [4], а также проведено всеобъемлющее тестирование программного комплекса совместно с сотрудниками НПО им. С.А. Лавочкина.

Перед запуском космического радиотелескопа был сделан выбор оптимальной орбиты по критерию эффективности научных исследований на основе вычислений условий видимости радиосточников для всей небесной сфере в течение года². Согласно результатам проведенного анализа выяснилось, что для проекта крайне нежелательна ситуация, когда интерферометрические наблюдения попадают на период июнь—август. По плану летных испытаний интерферометрический этап должен наступить через 2 мес. после запуска космического радиотелескопа. Таким образом, благоприятное окно запуска находится в интервалах июнь—август. При выборе даты запуска в этом интервале гарантированы наилучшие условия для эффективного проведения научной программы наблюдений в течение года.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В ходе подготовки к запуску космического радиотелескопа в качестве элемента наземно-космического радиоинтерферометра было разработано программное обеспечение для планирования наблюдений радиосточников. Фактически создан набор инструментов, так называемый *tool-kit*, для решения различных задач моделирования космической миссии в контексте радиоинтерферометрии со сверхдлинными базами, когда один или несколько телескопов запущены в космос.

Данный набор инструментов может быть использован для разработки новых приложений, поскольку программный комплекс SSAM основан на принципах модульности, расширяемости и повторного использования кода. И с этой точки зрения он представляет собой среду разработки (*framework*) приложений для решения широкого круга задач — от анализа произвольного текста во входном и/или выходном потоке данных до модельных расчетов разной степени сложности. Структуры любых приложений на самом верхнем уровне, типы конфигурационных файлов, главная программа, практически идентичны. Функционал приложений определяется исключительно выбором существующих или вновь создаваемых библиотек.

² Якимов В.Е., Попов М.В., Литовченко И.Д., Шейхет А.И. Выбор оптимальной орбиты по критерию эффективности научных исследований в соответствии с окном запуска // Научно-технический отчет. АКЦ ФИАН. 2011.

Возможные перспективы использования и развития программного комплекса определяются текущими задачами проекта “РадиоАстрон” на основе существующих приложений и создания новых при необходимости. Программный комплекс SSAM может быть востребован для анализа и моделирования новых космических миссий, проектируемых для решения астрофизических задач с учетом базирования инструментов в ближнем и дальнем космосе.

Автор хотел бы выразить признательность В.Г. Промыслову за понимание и поддержку в ходе работы над программным комплексом. Автор благодарен А.И. Шейхету и Е.Н. Филипповой, сотрудникам НПО им. С.А. Лавочкина, за благожелательное отношение и терпение в течение продолжительного тестирования комплекса в предпусковой период подготовки проекта.

Проект “РадиоАстрон” осуществляется Астро-космическим центром Физического института им. П.Н. Лебедева РАН и НПО им. С.А. Лавочкина по контракту с Российским космическим агентством совместно со многими научно-техническими организациями в России и других странах.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Murphy D.W.* ASC Simulation Software Developments // Interoffice Memorandum of the Jet Propulsion Laboratory. USA. 1993. P. 1–15.
2. *Fejes I., Murphy D.W., Taylor A. R. et al.* Space VLBI User Assistance Software // VLBI TECHNOLOGY: Progress and Future Observational Possibilities: Proceedings of the International Symposium Held at Kyoto International Conference Hall on September 6–10, 1993. Terra Scientific Publishing Company. Tokyo. 1994. P. 59–69.
3. *Murphy D.W., Yakimov V., Kobayashi H. et al.* Space VLBI Simulations // VLBI TECHNOLOGY: Progress and Future Observational Possibilities: Proceedings of the International Symposium Held at Kyoto International Conference Hall on September 6–10, 1993. Terra Scientific Publishing Company. Tokyo. 1994. P. 34–38.
4. *Войнаков С.М., Филиппова Е.Н., Шейхет А.И., Якимов В.Е.* Функциональные ограничения на ориентацию бортовых и наземных средств в проекте “РадиоАстрон” // Космич. исслед. 2014. Т. 52. № 5. С. 408–414. (Cosmic Research. P. 373).
5. *Журавлев В.И.* // Пакет *Fakerat* в международном интерферометрическом проекте “РадиоАстрон” со сверхдлинными наземно-космическими базами // Космич. исслед. 2015. Т. 53. № 3. С. 232.