

Программный комплекс обработки и анализа координатной и фотометрической информации о ГСС, используемый в АФИФ РК

Разработан и отлажен единый программный комплекс, предназначенный для обработки и анализа результатов наземных наблюдений ГСС по информации, поступающей с двух и более оптических инструментов. В его состав входят как модули программы, обеспечивающие оперативную обработку, архивацию и визуализацию координатной и фотометрической информации о ГСС, расчет параметров орбит и эфемерид, определение некоторых фотометрических характеристик и построение фотометрического портрета, периодов вращения КА вокруг центра масс, идентификации типа ГСС и присвоение ему международного номера.

При создании комплекса использован многолетний опыт работы Лаборатории наблюдений ИСЗ «Астрофизического института им. В.Г. Фесенкова» по созданию информационной базы данных о состоянии околоземного космического пространства и взаимодействию наземных пунктов слежения РК. Регулярный контроль геостационарной орбиты в диапазоне долгот 10° – 140° в.д. осуществляется с 1991 года, ведется информационная база данных (БД) и Зональный каталог геостационарных спутников [1,2]. В 1998 г. к оптическим наблюдениям подключилась квантово-оптическая система (КОС) площадки 3Д полигона Сары-Шаган (г. Приозерск). С 2001 по 2005 гг. функционировал Региональный центр сбора и обработки астрометрической и фотометрической информации о геостационарных спутниках в составе пунктов наблюдений (ПН) Астрофизического института им. В.Г. Фесенкова и КОС. Была налажена совместная работа двух оптических средств, отработано программное обеспечение для синхронной работы ПН, созданы программы сбора и обработки астрометрической и фотометрической информации, проводились синхронные наблюдения.

По состоянию на середину ноября 2011 года в БД содержалась координатная информация для 1026 объектов и фотометрическая для 237 из них, некоторые объекты сопровождаются с 1980 года. Фотометрическая информация получена практически для всех типов запускаемых ГСС. Совместный анализ позиционной и некоординатной информации используется для определения пространственной ориентации КА, отражательных свойств его покрытия и ряда других параметров, необходимых для идентификации объекта и, в конечном итоге, для определения его функционального назначения в случае, если объект не фигурирует в открытых каталогах.

Эти же сведения могут быть полезны и при возникновении аварийных ситуаций на околоземных орбитах. В качестве примера их эффективного применения можно сослаться на результаты анализа наземной информации, выполненной сотрудниками

Астрофизического института, для аварийных спутников «Ямал-101», «Экспресс АМ-11», DSP F23 [3,4,5]. Казахстанские ПН имели подробную координатную и фотометрическую информацию по отечественному спутнику связи Казсат-1 и отслеживали его поведение с момента выведения спутника в точку стояния. О том, что в его работе возникла нештатная ситуация, стало ясно уже в январе 2008г. Анализ информации позволил также установить возможную причину отказа [6].

1 Назначение программного комплекса

Программный комплекс предназначен для обработки и анализа оптической и траекторной информации о КА при выполнении работ по контролю околоземного космического пространства и оптимизации процесса наблюдений. Он реализует комплексный подход к решению проблемы идентификации геостационарных спутников и основан на использовании наземной координатной и фотометрической информации и современных математических методов (решение некорректных задач, теории распознавания образов) и их комбинаций с экспертными оценками. Комплекс способен обеспечить решение следующих задач:

- оперативная обработка и представление координатной и фотометрической информации о ГСС;
- расчет элементов орбит ГСС, эфемерид для конкретных пунктов наблюдений и моментов опасных сближений ГСС в контролируемой зоне;
- вывод местоположения наблюдаемого объекта в заданном поле зрения на фоне звезд в реальном времени;
- вывод местоположения конкретного КА или всех объектов, содержащихся в БД, в реальном времени на карту земного шара;
- определение оптических и физических характеристик ГСС и их пространственной ориентации;
- поддержание каталога активных и пассивных ГСС, в том числе и крупных фрагментов космического мусора;
- идентификация типа ГСС с последующим занесением в БД.

2 Краткое описание функционального назначения и взаимодействия основных программ комплекса

Разработанное программное обеспечение (ПО) открыто (т.е. в нем предусмотрена возможность дополнений и расширений); состоит из отдельных модулей, мобильно (есть возможность переноса в различные среды), защищено, надежно и устойчиво в работе.

2.1 Пакет программ для построения кеплеровской орбиты и расчета эфемерид на основе результатов наблюдений одного или нескольких наземных пунктов.

В качестве входной может быть использована координатная информация, поступающая от наших ПН, в том числе и из Зонального каталога, или из любых других источников, например, каталога Российского ЦККП, двухстрочников [7], LOG-ов [8] и др. До использования астрометрической информации проводятся:

- редукция наблюдений к стандартному виду на заданный момент времени и к инерциальной системе отсчета;
- учет искажающих факторов (дифференциальной рефракции, годичной аберрации и др.).

Для работы программы определения элементов возмущенной орбиты ГСС можно использовать информацию с одного или нескольких ПН. Возможно построение орбит по ограниченному объему входных данных или с привлечением информации из предыдущих сеансов наблюдений. Кроме того, можно построить орбиты нежестких ГСС (когда период обращения спутника вокруг Земли сильно отличается от периода вращения самой Земли).

Расчет эфемерид (в зависимости от выполняемой задачи) можно проводить: для всех ГСС, содержащихся в файле с исходными данными, в необходимом интервале долгот или для объектов с нужными номерами. Выходная информация этого пакета предназначена для передачи на пункты наблюдений, для формирования файлов с фотометрической информацией и ее анализа.

В этом же пакете предусмотрен расчет моментов опасных сближений ГСС в контролируемой зоне.

2.2 Программы сортировки и первоначального анализа фотометрической информации. Объем данных, поступающих с ПН, достаточно большой, поэтому они передаются в закодированном виде одним пакетом. Обычно в течение ночи сопровождается не один объект, для каждого из них проводится несколько серий наблюдений самого спутника и стандартных звезд. На данном этапе обработки на каждый момент регистрации:

- приводятся в соответствие полученная координатная и фотометрическая информация;
- определяется экстинкция;
- вычисляются звездные величины объекта.

В процессе работы используется сформированный нами компиляционный каталог фотометрических стандартов [9] и необходимые сведения из БД. Кроме этого в данном блоке для переменных ИСЗ проводится предварительное определение периодов изменения их блеска. Вся полученная по объекту информация сохраняется под одним текущим номером. В дальнейшем она может быть использована любой программой комплекса. Номер ГСС автоматически изменяется только после его идентификации.

2.3 Пакет полной обработки фотометрической информации. Здесь формируются фазовые кривые и фазовые портреты объекта, вычисляются периоды вращения КА и прецессии оси вращения, проводится построение его геометрического образа. Отдельная программа предусматривает определение характеристик ГСС на границах земной тени, если наблюдения проводились при его заходе и выходе из тени Земли. В процессе работы осуществляется взаимодействие с необходимыми программами комплекса и существующей БД. Результаты заносятся в Библиотеку, где хранится вся фотометрическая информация, и используются для дальнейшей обработки, передачи, просмотра и редактирования в графическом и текстовом виде.

2.4 Блок отождествления типа ГСС по фотометрической и орбитальной информации. Работа этого блока обеспечивает доступ к любой программе комплекса, позволяет получить информацию обо всех ГСС, находящихся в БД на данный момент.

Процесс идентификации ГСС включает в себя следующие этапы: вычисление элементов орбиты и их анализ; определение ориентации объекта и его динамических параметров (периода вращения вокруг собственного центра масс, направление оси вращения); оценку типа его стабилизации; расчет оптических характеристик ГСС, присвоение объекту международного номера. Сама процедура идентификации сводится к сравнению конкретных признаков (характеристик) наблюдаемого и эталонных объектов. Отождествляемый объект относят к тому типу, для которого совпадение признаков максимально, оно же и определяет вероятность идентификации. В качестве такого набора использованы фазовые градиенты, эффективные площади отражения, относительные коэффициенты отражения, периоды изменения блеска, т.е. величины, вычисляемые из фотоэлектрических и астрометрических наблюдений КА [10-13] для 28 известных типов ГСС. В настоящее время для определения этих параметров используется метод разложения по базисным векторам, в дальнейшем процедура распознавания будет дополнена формальной схемой с использованием методов семантического анализа (кластеризация и выделение доминирующих признаков) [14,15]. Мы считаем данный подход достаточно перспективным, так как он допускает «конструирование» образа неизвестного объекта на основе комбинации признаков, характерных для известных аппаратов.

Процесс отождествления проводится в диалоговом режиме с оператором, окончательное решение о принадлежности ГСС к конкретному типу всегда остается за человеком. В его арсенале помимо большого объема сведений, полученных в результате обработки координатных и фотометрических наблюдений, информации из «внешних» источников имеется достаточный набор трудно формализуемых интуитивных соображений, которые могут характеризовать отдельные свойства или особенности конкретного типа.

Например, по начальным параметрам орбит можно судить о вероятном типе (классе) наблюдаемого ИСЗ, по форме кривой блеска на границах земной тени - о доминирующих свойствах его покрытия. Фазовые коэффициенты позволяют оценить степень сложности структуры объекта. Фазовый портрет, эффективная площадь отражения и геометрический образ предоставляют возможность оценить геометрические параметры и пространственную ориентацию КА, а скейлинговые коэффициенты - вероятный тип его стабилизации. Совместный анализ всех этих сведений позволяет проводить идентификацию ГСС достаточно надежно.

После завершения процесса отождествления и присвоения ИСЗ международного номера сведения о нем заносятся в базу данных. Следует отметить, что не всегда удается надежно идентифицировать объект даже после использования всей информации, полученной во время одного или нескольких сеансов наблюдений. Если КА распознать не удалось, то ему присваивается текущий номер, и в дальнейшем он фигурирует в БД как «неизвестный». Как правило, количество «неизвестных» варьируется от 1 до 6-7. По мере поступления и анализа «свежей» информации это число уменьшается.

Описанный программный комплекс должен обеспечивать оперативное отождествление КА в процессе проведения и планирования наблюдений. Это дает возможность в реальном времени иметь информацию о сопровождаемом объекте и, в частности, решать, какой объем данных необходимо получить по нему в эту ночь или в данный сеанс наблюдений.

Практически все программы и модули комплекса использовались для обработки и анализа наблюдений в течение многих лет. Они разрабатывались и дорабатывались в разное время, взаимодействие между ними осуществлялось различными вспомогательными программами. В настоящее время все программное обеспечение объединено в единый комплекс, в качестве операционной системы и языка программирования использованы Windows-XP и C++ Builder 6. При отладке и тестировании комплекса по имеющейся архивной информации из разных ПН РК и СНГ, и в реальных условиях наблюдений не были зарегистрированы нештатные ситуации, что, по нашему мнению, свидетельствует о высокой эффективности применяемых методов.

Литература

1. Демченко Б.И., Диденко А.В., Усольцева Л.А., Бочаров И.Ю., Афонин А.Н. Зональный каталог геостационарных спутников. Выпуск 1. Алматы, Гылым, 1996. 92с.
2. Диденко А. В., Демченко Б. И., Усольцева Л. А. и др. Зональный каталог геостационарных спутников. Выпуск 2. Алматы, Гылым, 2000, 108 с.

3. Диденко А.В., Усольцева Л.А. Анализ состояния аварийного геостационарного спутника Ямал-101 на основе фотометрических наблюдений. Известия НАН РК, серия физ.-мат., 2006, №4, С. 100-104.
4. Диденко А.В., Усольцева Л.А. Анализ состояния геостационарного спутника «ЭКСПРЕСС АМ - 11» на основе координатных и фотометрических наблюдений. Доклады Международной научной конференции, посвященной 70-летию академика У.М. Султангазина, 4-6 октября 2006. Алматы, 2006, С.396-398.
5. Диденко А.В., Усольцева Л.А. Анализ наземной информации об аварийном геостационарном спутнике DSP F23. Известия НАН РК. Серия физ.-мат., 2010, № 4, С.81-84
6. Диденко А.В., Усольцева Л.А. Анализ наземной оптической информации о геостационарном спутнике Казсат-1. Известия НАН РК. Серия физ.-мат., 2009, № 4, С. 84-89
7. <http://celestrak.com/NORAD/elements/geo.txt>
8. <http://planet4589.org/space/log/geo.log>
9. Диденко А.В., Синяева Н.В., Усольцева Л.А. Сводный каталог UBVR_I величин стандартных звезд для наблюдений КО. Наблюдения ИНТ, М., 1990, Т. 85, С. 24-30.
10. Диденко А.В., Усольцева Л.А. Определение оптических характеристик геостационарных спутников и земной атмосферы по их наблюдениям на границах земной тени. Космические исследования в Казахстане. Алматы, КазГосИНТИ, 2002, С. 355-373.
11. Диденко А.В., Усольцева Л.А. Определение пространственной ориентации ГСС на основе наземной информации. Вторые Фесенковские чтения «Современная астрофизика: традиции и перспективы». Алматы, 18-20 июня, 2007, С. 26-28.
12. Диденко А.В., Усольцева Л.А. Об определении периодов вращения геостационарного спутника (ГСС) вокруг центра масс. Известия НАН РК, Серия физ.-мат., 2007, № 4, С. 90-93.
13. Диденко А.В., Усольцева Л.А. Использование эффективной площади отражения геостационарного спутника при идентификации его типа. Известия НАН РК. Серия физ.-мат., 2007, № 4, С. 93-97.
14. Ланда П.С., Розенблюм М.Г. Сравнение методов конструирования фазового пространства и определение размерности аттрактора по экспериментальным данным // Ж. Тех-физики. М., 1989, Т. 59, № 11, С. 1-5.
15. Ши-Хо Лю, Фу К.С. Применение синтаксических методов распознавания сейсмических сигналов. М., Мир, 1986, С. 219-234.

Астрофизический институт им. В.Г. Фесенкова, г. Алматы, РК

Didenko A.V., Demchenko B.I., Nifontov S.G, Nifontova M.V., Usoltseva L.A

The program complex of processing and analysis of GSS's coordinate and photometric information used in V.G. Fessenkov Astrophysical Institute, RK

We developed and tested the single software complex for processing and analysis of ground-based observations of GSS from two or more optical instruments. It consists of software packages which allow to ensure online processing, archiving and visualization of GSS's coordinate and photometric information, the calculation of the parameters of orbits and ephemerides, estimation of some photometric characteristics, period of the rotation around of the own centre of masses and the direction of spin axis objects', stabilization's type; creation of equivalent geometrical image; identification of the GSS' type and assignment of international number.