

УДК 629.78:658.513

НЕИТЕРАЦИОННЫЕ МЕТОДЫ ПЛАНИРОВАНИЯ КОМПЛЕКСНОГО ИСПОЛЬЗОВАНИЯ НАЗЕМНЫХ И КОСМИЧЕСКИХ СРЕДСТВ НАБЛЮДЕНИЯ ОРБИТАЛЬНЫХ ОБЪЕКТОВ

Лабуткина Т.В.

Днепровский национальный университет, г. Днепр, Украина

Аннотация: Предложен комплекс методов планирования наблюдения множества каталогизированных орбитальных объектов, реализуемого с целью периодического уточнения значения их орбитальных параметров. Наблюдения осуществляются системой, в составе которой сеть наземных станций и сеть космических станций наблюдения. В общем случае наземные и космические станции имеют несколько устройств наблюдения. Методы планирования неитерационные – план составляется в ходе нескольких этапов планирования, при этом операции одного этапа отличны от другого. Показано, что рассмотренная задача планирования наблюдения орбитальных объектов является частным случаем задачи планирования операций, реализуемых множеством динамических средств на множестве динамических объектов. Таким образом, представленные методы при соответствующей адаптации могут быть использованы в задачах планирования операций в сложных технических системах и производственных процессах.

Ключевые слова: наблюдения, методы планирования, орбитальные объекты, наземные станции наблюдения, космические станции наблюдения.

Число орбитальных объектов в околоземном космосе возрастает [1,2]. Поэтому множество задач обеспечения эффективной и безопасной эксплуатации космоса требует постоянного обновления информации о текущем состоянии множества орбитальных объектов, в частности – о составе множества каталогизируемых объектов и текущих значениях их орбитальных параметров. Основным источником информации об орбитальных объектах – данные сетей наземных станций наблюдения. Однако все больше внимания уделяется еще одному источнику информации – наблюдениям, реализуемым средствами, установленными на космических аппаратах. Наиболее эффективный и рациональный подход к решению задачи контроля орбитальных объектов в околоземном пространстве – единая глобальная система наблюдения, включающая в себя сеть наземных и сеть орбитальных станций наблюдения (использующих радиолокационную или оптическую аппаратуру). Проектирование и последующая эксплуатация глобальной системы наблюдения околоземного орбитального множества объектов (или системы, представляющей собой некоторую часть глобальной) требует решения комплекса взаимосвязанных задач. В их числе – задача планирования сеансов наблюдения, реализуемых аппаратурой наземных и космических станций для уточнения параметров орбит каталогизированных объектов. Данная работа посвящена разработке методов составления плана согласованных наблюдений орбитальных объектов, осуществляемых средствами единой системы наземных и космических станций. Сложность оптимального (квазиоптимального) планирования наблюдений множества орбитальных объектов (даже в случае, когда используются ресурсы одной станции наблюдений) объясняется значительным числом объектов наблюдаемого множества и ограниченностью времени, которое отводится на планирование (например, потому, что часто возникает необходимость перепланировок при нереализованности запланированных наблюдений). Эта проблема и варианты подходов к ее решению описаны, например, в работах [3,4] для наземных станций оптического контроля космоса.

Сформулируем рассматриваемую постановку задачи. Планирование реализуется на заданном интервале времени $[t_{bp}, t_{ep}]$. В системе есть N_E наземных станций наблюдения, для которых известны их наземные координаты. Наземные станции могут быть как стационарными, так и мобильными. При этом полагается, что координаты наземных станций в течение интервала времени, для которого составляется план, неизменны. В общем случае

наземные станции могут быть как одноантенными (иметь одно средство наблюдения), так и многоантенными (иметь несколько средств наблюдения). Условие реализации наблюдений из наземной станции: угол места объекта наблюдения должен превышать заданное пороговое значение. В системе наблюдения N_s космических станций наблюдения. В общем случае каждый космический аппарат может одновременно использовать устройства наблюдения шести типов: устройства типов 1 и 2 – для наблюдений над и под плоскостью мгновенного местного горизонта соответственно; устройства типов 3 и 4 – для наблюдений слева и справа от плоскости орбиты соответственно; устройства типов 5 и 6 – для наблюдений с той стороны от бинормальной плоскости, куда движется космический аппарат, и с противоположной стороны соответственно. Плоскость, относительно которой определено направление использования устройства, назовем базовой. Наблюдения орбитального объекта возможны для космического аппарата с использованием устройства одного из перечисленных типов, если объект находится в секторе доступности наблюдения этого устройства (ось симметрии сектора перпендикулярна базовой плоскости). Таким образом, если рассматривать устройство наблюдения наземной или космической станции и орбитальный объект, то в общем случае на интервале времени планирования можно выделить отрезки времени доступности объекта для наблюдения этим устройством (составить расписание доступности). Во время сеанса наблюдения устройство наблюдения должно быть нацелено на объект наблюдения и сопровождать его. Параметры орбитального объекта в начале сеанса наблюдения уже известны с точностью, которая обеспечивает нацеливание устройства наблюдения в область быстрого «захвата» объекта. Наблюдение орбитального объекта устройством космического аппарата или наземной станции – постоянной длительности. Эти длительности могут различаться для нескольких групп космических аппаратов или для космических аппаратов и наземных станций, однако все они кратны одной и той же величине. Перенацеливание устройства наблюдения с одного объекта на другой полагается мгновенным (максимально возможное по длительности время перенацеливания включено в длительность сеанса наблюдения). Комплексный план для системы наблюдений представляет собой определение для каждого устройства наблюдения наземной или космической станции плана его эксплуатации (то есть определение последовательности орбитальных объектов, наблюдаемых этим устройством, и моментов начала и конца каждого сеанса наблюдения). Дадим неформальное описание требований к составляемому плану наблюдений. При составлении планов наблюдения для заданного интервала времени требуется обеспечить как можно большее число наблюдений каждого объекта, относительно равное для всех объектов. Так же требуется обеспечить, чтобы интервалы времени наблюдений были относительно равномерно разнесены по интервалу времени, для которого составляется план. Кроме того, предпочтительно выбрать для наблюдений такие интервалы времени, на которых качество полученных результатов наблюдения будет высоким. Для наземных наблюдений качество определяется, прежде всего, значениями углами места, определяющего высоту объекта над плоскостью местного горизонта и дальностью до объекта. Для устройств наблюдения на космическом аппарате качество определяется областью местоположения объекта в секторе возможного наблюдения устройства наблюдения и характеристиками движения объекта относительно космического аппарата-наблюдателя.

Очевидно, при нормальном функционировании системы (когда все запланированные наблюдения реализуются) целесообразно использовать централизованный план комплексного использования всех устройств системы наблюдения (и на космических аппаратах, и в наземных станциях). Под централизованным планом понимается план, при составлении которого используется информация обо всех имеющихся в наличии устройствах наблюдения. В процессе функционирования могут возникать ситуации, когда централизованные планы разрабатываются не для всего множества наличных средств наблюдения. Централизованный план могут составляться отдельно для наземного и космического сегментов наблюдения, или

для отдельных групп космических аппаратов и групп наземных станций. Единство плана системы в таком случае обеспечивается только учетом некоторых базовых принципов распределения объектов между станциями наблюдения. Наблюдения могут быть не реализованы вследствие внешних возмущающих факторов, отказа аппаратуры, изменения приоритетности задач. В этом случае может быть выполнена текущая коррекция плана. Корректировка плана может быть централизованной (всего централизованного плана на оставшийся промежуток времени) или автономная (независимая перепланировка работы одной или нескольких наземных или космических станций с целью наилучшего выполнения отведенной части общей задачи и учетом нереализованных наблюдений). Методы планирования не должны требовать существенных затрат времени на реализацию. Это объясняется, например, тем, что возможно изменение координат наземных станций, переходы на другие орбиты космических аппаратов-наблюдателей или изменение состава наблюдаемых объектов, что потребует быстрого обновления плана. Таким образом, использование итерационных методов, которые реализуют поиск квазиоптимального решения на основе многократно повторения циклов однотипных операций, – затруднительно (требует существенных затрат времени). Предложен комплекс неитерационных («быстрых») методов, которые включают в себя один или несколько (не более 3-5) этапов действий, которые не повторяются от этапа к этапу. Некоторые из модификаций предлагаемых методов рассмотрены для наземных станций в работе [5], а для космических аппаратов – в работах [6-8]. В данной работе эти методы развиты для случая их применения к планированию наблюдений, реализуемых системой с наземными и космическими станциями наблюдения.

Интервал времени планирования разбивается на отрезки, называемые шагами планирования. При равных длительностях интервалов наблюдения для всех групп устройств наблюдения шаг планирования равен длительности интервала наблюдения. При различных длительностях сеансов наблюдения различных групп станций шаг планирования равен величине, которой кратны длительности этих сеансов наблюдения. Предлагаемые методы можно разбить на два класса. К первому классу отнесем одноэтапные методы, которые имеют один этап планирования (собственно этап составления плана) и нулевой (предварительный) этап. На нулевом этапе для каждого объекта определяются расписание его доступности для каждого из устройств наблюдения всех станций наблюдения и ряд статистических показателей, характеризующих каждый из интервалов доступности для наблюдения устройством. Далее выполняется собственно этап планирования, – на каждом шаге планирования реализуется распределение объектов наблюдения по устройствам наблюдения, (если длительность интервала наблюдения устройством превышает длительность шага планирования, то «загрузка» этого устройства выполняется через соответствующее число шагов с учетом «опережающего анализа ситуации» на это число шагов). При распределении объектов по устройствам учитываются, во-первых, динамические показатели (зависящие от результатов, полученных на предыдущих шагах планирования), а, во-вторых, статические показатели, определенные на нулевом этапе. В методах второго класса планирование реализуется в несколько этапов операций, не повторяющихся от этапа к этапу. Эти этапы можно разбить на три группы. Интервал времени планирования, также как и в описанном выше случае, разбивается на отрезки, равные шагу планирования. На каждом k -ом шаге для каждого j -го устройства из совокупного множества устройств космических аппаратов и наземных станций рассматривается множество m объектов, доступных ему для наблюдения на этом шаге. На этапах первой группы для каждого j -го устройства наблюдения на каждом k -ом шаге рассчитывается комплекс показателей реализации с помощью него наблюдений объектов множества m . На этапах второй группы для устройства j на k -ом шаге разбиения рассчитываются показатели, которые позволяют сравнить условия наблюдения им n -го объекта на этом интервале с другими возможными реализациями его наблюдений. По этим показателям (с учетом их приоритетности) объекты множества m ранжируются. На этапах

третьей группы учитываются результаты ранжирования предыдущих этапов и рассчитываются показатели, позволяющие сравнивать положение объекта в списке ранжирования на k -м шаге с его положением в списках ранжирования всех устройств на этом шаге и на других шагах. На k -м шаге последнего этапа после ранжирования множества m объектов, доступных для наблюдения устройством j , в качестве наблюдаемого выбирается верхний объект списка ранжирования (или один из следующих за ним согласно алгоритму предпочтительного избегания «коллизий одинакового выбора» для нескольких устройств). Таким образом, на последнем этапе реализуется распределение объектов по устройствам наблюдения (при этом, как в случае одноэтапного метода учитывается различная длительность интервалов наблюдения). В число признаков ранжирования на последнем этапе могут также включаться показатели, учитывающие результаты планирования, полученные на этом этапе до k -го шага. При составлении планов все объекты могут приниматься равнозначными с точки зрения необходимости их наблюдения, а могут быть разбиты на классы приоритетности. Для сравнения полученных планов предлагается комплекс показателей качества плана. В числе таких показателей следующие: среднее число наблюдений объекта и дисперсия этой величины, средняя длительность интервалов времени между наблюдениями и дисперсия этой величины, и ряд других. Оценки показателей качества плана рассчитываются по всему множеству объектов, по группам приоритетности объектов, по группам диапазонов высотных зон, в которых находятся объекты.

Для представленной задачи планирования наблюдений орбитальных объектов дано обобщение. Показано, что эта задача – частный случай задачи планирования операций, реализуемых множеством динамических средств на множестве динамических объектов (задача в такой постановке представлена в работе [9] и развита в данной работе). Предлагаемое обобщение позволяет распространить описанные методы на широкий спектр задач, в том числе, – задачи планирования операций в сложных технических системах и производственных процессах.

Список литературы:

1. *Техногенное засорение околоземного космического пространства* / А.П. Алпатов, В.П. Басс, С.А.Баулин [и др.]. – Днепропетровск : Пороги, 2012. – 378 с
2. *Вениаминов С.С. Космический мусор – угроза человечеству.* / С.С. Вениаминов, А.М. Чернов, под редакцией Назирова Р.Р. и Аксенова О.Ю. // Механика управление и информатика. Москва 2013. – 208 с.
3. *Бельский А.Б. Астрооптический мониторинг космического пространства в условиях облачности.* / А.Б. Бельский, С.Е. Здор, В.И. Колинко, В.И. Яцкевич // «Оптический журнал» 77, 9, 2010 45.
4. *Zdor S.E. Planning Optical Search of Celestial Bodies in Near-Earth Space/ S.E. Zdor, Kolinko V.I.* // Proc. Of fifth US/Russian space surveillance workshop. St.-Petersburg, September 24–27, 2003. – P. 286–293.
5. *Лабуткина Т.В. Неитерационные методы планирования наблюдения из наземных станций многоэлементного множества орбитальных объектов.* / Т.В. Лабуткина, А.С. Здор, Е.А. Голубина, А.Н. Новак // Системне проектування та аналіз характеристик аерокосмічної техніки. Збірник наукових праць. Том XVII 2015 С. 62-78.
6. *Лабуткина Т.В. Неитерационный метод планирования наблюдения орбитальных объектов с космического аппарата.* / Т.В. Лабуткина, Я.А. Скородень, А.В. Борщева, А.А. Тихонова// Системне проектування та аналіз характеристик аерокосмічної техніки. Збірник наукових праць. Том XXI 2016 С. 53-69.
7. *Labutkina T. Spacecraft orbital object observation fast planning methods/ T. Labutkina, V. Larin, Ya. Skoroden, A. Borschova// Presentations theses of 6th international conference: “Space technologies: present and future”, 23-26 may, Dnipro, Ukrain. С. – 130.*
8. *Скородень Я.А. Метод планирования использования радиолокационных средств космических аппаратов, наюлюдающих орбитальные объекты/ Я.А. Скородень, Т.В. Лабуткина, А.В. Бабанина // Тези доповіді 17 Української конференції з космічних досліджень, 21-25 серпня 2017 р., Одеса. – С. 144.*
9. *Лабуткина Т.В. Комплекс неитерационных методов планирования операций, реализуемых множеством динамических средств на множестве динамических объектов.* / Т.В. Лабуткина, А.В. Хлопонина, И.Г. Лукьяненко, В.В. Мартинов // Тези доповідей Десятої міжнародної науково-практичної конференції «Інформаційні технології в металургії та машинобудуванні. ІТММ'2018», 27–29 березня 2018 р, Національна металургійна академія України, м. Дніпро. – С. 108.