

УДК 519.854 (075.8)

Задачи и модели, методы и результаты исследования динамического процесса планирования наблюдений в АСКМ ПМО

А.И. Посадский, С.А. Новиков

Аннотация

Рассматриваются задачи формирования и динамической корректировки составленного на заданный интервал времени плана наблюдений подвижных морских объектов с учетом поступающей в центр приема и обработки информации Системы данных о результатах осмотра областей возможного положения этих объектов. Приводится описание разработанной имитационной модели, как инструментального средства для исследования эффективности алгоритмов планирования.

Ключевые слова

Система космического мониторинга; космическое наблюдение; дистанционное зондирование Земли; бортовая аппаратура обзора; планирование наблюдений; стохастическая постановка задачи планирования; слежение за местоположением морского объекта; корректировка плана наблюдений.

Введение

В настоящее время актуальной задачей является создание спутниковых систем мониторинга, предназначенных для получения информации о земной поверхности в целях решения различных задач научного и прикладного характера. Среди этих систем особое место занимают системы морской космической разведки [1]. В данной работе рассматривается один из актуальных вариантов такого рода системы: автоматизированная система космического мониторинга подвижных морских объектов (АСКМ ПМО), формируемая на основе группировок разнородных космических аппаратов (КА), оснащенных разнородной аппаратурой обнаружения (АО). Центральной задачей, решаемой в такой системе, от эффективности реше-

ния которой во многом зависит эффективность функционирования всей АСКМ ПМО, является задача планирования наблюдений подвижных морских объектов (ПМО). Постановке и решению этой задачи и посвящена данная работа. Задачи планирования наблюдений в спутниковых системах мониторинга рассматривались и ранее [2], однако в них не учитывался динамический, трудно прогнозируемый характер поведения объектов наблюдения, которыми в данной системе являются ПМО. Учет же такого характера функционирования ПМО приводит к необходимости формировать и решать задачу планирования в стохастической постановке.

Постановка задачи планирования наблюдений ПМО

Активными средствами рассматриваемой АСКМ ПМО являются разнородные группировки КА с АО различного типа (радиолокационной, радиотехнической, оптической и т.п.), способной просматривать заданные области земной поверхности и собирать информацию по различным характеристикам ПМО (координатам, курсу, скорости движения, типу ПМО и др.), отображаемым информационно в центре приема и обработки информации (ЦПОИ) системы в виде позиций формуляра ПМО. Процесс сбора информации имеет стохастический характер, что связано с ошибками в прогнозе местоположения ПМО, частичностью перекрытия полосой обзора АО прогнозируемой области возможных положений (ОВП) ПМО, вероятностным характером самого процесса обнаружения. Полученная с помощью АО КА информация о ПМО с запаздыванием доводится до ЦПОИ.

С учетом всех этих факторов и ресурсных ограничений, накладываемых на работу АО (по времени работы, числу включений на отдельных витках КА или на всем периоде планирования, объему бортового долговременного запоминающего устройства (ДЗУ) и др.), в АСКМ должна решаться задача планирования наблюдений ПМО таким образом, чтобы обеспечивать постоянно как можно большую степень новизны (актуальности) собираемой в ЦПОИ информации о ПМО.

Для осуществления планирования наблюдений необходимо сначала определить информационный массив по всем возможным наблюдениям, которые могут быть осуществлены на интервале планирования всеми КА по всему множеству наблюдаемых ПМО, а затем из этих возможностей выбрать те, которые будут включены в план. Этот массив должен содержать, в частности, следующую информацию по каждому возможному наблюдению:

- моменты времени возможного начала и окончания наблюдения;
- момент времени возможного доведения данных текущего наблюдения до ЦПОИ;

- объем бортового ДЗУ, необходимый для хранения данных, полученных в результате наблюдения;
- долю перекрытия ОВП ПМО полосой обзора АО КА;
- освещенность места наблюдения;
- прогнозируемое состояние метеообстановки в месте наблюдения;
- угол разворота оптической оси камеры наблюдения в полосе обзора АО оптического типа.

Целью планирования в АСКМ является обеспечение наиболее эффективного решения задач слежения (ЗС) за местоположением ПМО и выдачи информации (ЗВИ) о характеристиках ПМО конечным потребителям этой информации.

Задача динамической корректировки плана

Реализация запланированных наблюдений имеет стохастический характер вследствие двух причин: стохастической природы процесса наблюдений, производимых АО КА; возможности ПМО маневрировать и, как следствие, выходить из зоны наблюдения АО.

В процессе выполнения составленного плана возможны следующие варианты реализации отдельных его компонент:

- а. по результатам некоторых наблюдений получена и доведена до ЦПОИ информация о местоположении и других характеристиках ПМО, которые определяются АО, производшей соответствующие наблюдения;
- б. по результатам некоторых наблюдений получена и доведена до ЦПОИ информация о том, что ПМО в зоне возможного их положения не обнаружены;
- в. некоторые наблюдения уже произведены, но информация по ним еще не доведена до ЦПОИ;
- г. некоторые запланированные наблюдения еще не произведены, но изменить план по этим наблюдениям нельзя, так как КА, участвующие в этих наблюдениях, в оставшееся до их реализации время не будут находиться в зоне информационного взаимодействия с ЦПОИ;
- д. некоторые запланированные наблюдения еще не произведены и можно изменить план по этим наблюдениям: либо их отменить, либо скорректировать параметры наблюдений (изменить времена включения и выключения АО КА).

Таким образом, на основе новой информации, полученной в результате частичной реализации плана, в ЦПОИ возникает необходимость и возможность корректировки ранее составленного плана.

С учетом полученной информации в ЦПОИ на основе соответствующих алгоритмов может быть скорректирован прогноз динамики движения и размеров зон возможного положения тех ПМО, по которым реализовались исходы «а» или «б».

В результате баллистического прогноза взаимодействия зон наблюдения АО КА с обновленной динамикой ОВП ПМО осуществляется корректировка множества возможных наблюдений. При этом по некоторым наблюдениям могут быть скорректированы лишь параметры (моменты начала и конца наблюдения), некоторые возможности могут вообще исчезнуть (например, из-за того, что доля перекрытия ОВП маневрирующего ПМО становится недопустимо мала), могут появиться новые возможности наблюдения.

При решении задачи корректировки плана необходимо также учитывать то, что некоторые ресурсы АО уже израсходованы или будут израсходованы в результате частичной реализации плана. При корректировке правых частей ресурсных ограничений необходимо использовать информацию о ближайших временных интервалах информационных контактов КА с ЦПОИ (эта информация является неизменной на всем интервале планирования): все ранее запланированные возможности до этих интервалов будут реализованы без изменения, и соответствующие ресурсы АО будут израсходованы.

Процессы изменения «актуальности информации» по отдельным позициям формуляра ПМО с учетом полученной информации по исходам «а» или «б» принимают на момент решения задачи корректировки конкретные значения и являются для задачи корректировки начальными условиями.

Алгоритм планирования наблюдений

Алгоритм планирования наблюдений предлагается формировать на основе метода неявного перебора, основанного на стратегии локального поиска по одной большой итерации [4]: на первом этапе с использованием эвристических правил формируется хорошее допустимое решение задачи, а на втором осуществляются попытки его улучшения.

Алгоритм планирования:

1. Для каждого КА на каждом витке, временном интервале накопления в памяти информации, суточном интервале рассчитать затраты ресурсов работы его АО (по числу включений, времени работы, требуемому объему ДЗУ для хранения полученной информации) при реализации всех возможностей наблюдения ПМО, выявленных в баллистическом прогнозе.

2. Выявить КА и интервалы работы их АО, для которых ресурсные ограничения не выполняются. Определить по каждому интервалу величину процентного превышения заданного ресурсного ограничения.
3. Реализовать стратегию формирования допустимого и эффективного плана использования возможностей наблюдения ПМО. Для этого использовать следующие эвристические правила:
 - на тех интервалах, где превышение ресурсных ограничений не более установленного предела (например, не более 40-50%), стратегию вхождения в область допустимых решений осуществлять путем последовательного исключения отдельных возможностей из полного их множества до тех пор, пока выявленное нарушение ресурсного ограничения не будет ликвидировано;
 - на тех интервалах, где превышение ресурсных ограничений больше установленного предела, стратегию формирования допустимого плана осуществлять путем последовательного включения отдельных возможностей, начиная с пустого множества до тех пор, пока по какому-то ресурсному ограничению не реализуется выход на границу области допустимых решений;
 - последовательное включение в план (исключение из плана) возможностей проводить с учетом
 - величин изменения критерия задачи планирования,
 - величины изменений затрат по дефицитным ресурсам,
 - частотных возможностей наблюдения ПМО различными КА на отдельных временных интервалах.
4. Осуществить попытки улучшения сформированного допустимого плана путем исключения из плана некоторых возможностей и включения вместо них других таким образом, чтобы получить как можно больший прирост критерия. При определении изменений допустимого решения рассматривать те КА, ресурсные ограничения АО которых являются активными.

Имитационная модель АСКМ как инструментальное средство исследования алгоритмов планирования

Имитационная модель (ИМ) в задачах исследования алгоритмов планирования наблюдений ПМО имеет двойное назначение:

- основное назначение – оценка эффективности работы алгоритмов планирования, работающих в составе АСКМ;

- вспомогательное назначение – подготовка исходных данных для работы алгоритма планирования (определение перечня возможностей наблюдения ПМО и параметров этих наблюдений при взаимодействии АО КА с динамически изменяющимися на периоде планирования ОВП ПМО).

Далее приведем краткое описание объектов, их параметров и процессов, моделируемых в ИМ.

В ИМ представлены КА–наблюдатели, оснащенные аппаратурой осмотра различных типов для сбора информации о ПМО. В модели принято, что КА-наблюдатели осуществляют движение по невозмущенным круговым или эллиптическим орбитам. Их движение задается алгебраическими уравнениями и рассматривается как непрерывный процесс.

АО характеризуется следующими данными: типом, вероятностью обнаружения ПМО; заданными возможностями определения данных по различным позициям формуляра ПМО; шириной и конфигурацией полосы обзора АО, размерами мгновенной зоны видимости и возможностью ее перенацеливания; точностью определения параметров ПМО; влиянием внешней среды на возможности наблюдения. Например, условиями успешной работы АО оптического типа являются благоприятные погодные условия в районе наблюдения и достаточная освещенность места наблюдения; ресурсными ограничениями работы АО по времени работы и по количеству включений на одном витке и за одни сутки, по емкости бортового ДЗУ, по скорости перенацеливания оптической оси камеры для оптической АО.

Спутники-ретрансляторы (СР) - это КА, движущиеся по высоким круговым или эллиптическим орбитам, способные получать данные от КА-наблюдателей и передавать их на наземный информационный комплекс (НИК) во время ближайшего сеанса связи.

ПМО – это надводные корабли различных классов, осуществляющие движение по траекториям некоторых видов (прямолинейное равномерное движение, броуновское движение в заданном районе, движение по сложной пилообразной траектории). Для каждого ПМО заданы важности с точки зрения первоочередности их наблюдения АО КА и необходимости иметь по ним полную актуальную информацию.

НИК осуществляют информационное взаимодействие с КА и передачу данных, полученных при наблюдениях в ЦПОИ. КА объединены в несколько группировок (космических систем (КС)). Каждый НИК обеспечивает сбор информации от КА, принадлежащих той же КС, что и сам НИК. Задаются координаты НИК и угол места для гарантированного приема информации от КА. Количество НИК не ограничено и задается при моделировании.

В ИМ АСКМ принято, что ЗВИ решается, если с момента последнего определения аппаратурой осмотра КА координат, класса ПМО и некоторых других характеристик его формуляра прошло не более заданного интервала времени.

ЗС решается, если радиус области, в которой может находиться ПМО (учитывая его последнее успешно реализованное обнаружение, данные по которому доведены до ЦПОИ), не превышает заданной величины.

Реализация ИМ

ИМ реализована в классе непрерывно-дискретных с использованием событийного подхода к формализации с применением системы имитационного моделирования (СИМ) Modelling [5]. При продвижении модельного времени применяется комбинация метода модельных событий и фиксированного шага.

Непрерывными процессами, реализованными в модели, являются движения КА и ПМО.

Дискретная часть ИМ реализована с помощью следующих модельных событий: попадание ПМО в зону осмотра АО КА, попадание КА-наблюдателя в зону связи со спутником-ретранслятором, вход КА в зону связи с наземным информационным комплексом, начало передачи данных между объектами системы, окончание передачи данных между объектами системы, прохождение ПМО граничной точки маршрута, потеря ПМО, включение АО КА, выключение АО КА, прохождение КА начала нового витка, решение ЗВИ по отдельным ПМО.

В ИМ реализован развитый визуальный и графический интерфейс, позволяющий эффективно вести подготовку исходных данных, организацию имитационных экспериментов, в интерактивном режиме осуществлять взаимодействие пользователя с моделью, в наглядном виде получать выходные результаты.

ИМ может функционировать в одном из двух основных режимов: режим баллистического прогноза и подготовки данных для алгоритма планирования; режим отработки составленного плана.

Полный цикл работы ИМ АСКМ состоит из последовательной работы модели в каждом из двух режимов. Схема полного цикла суточного функционирования модели представлена на рис. 1.

Механизм динамических корректировок плана

Для реализации механизма динамических корректировок требуется разработка не одной, а комплекса взаимосвязанных имитационных моделей. Одна из них – основная ИМ (ОсИМ) – должна отображать процесс реализации плана и его корректировок, воспроизводя процессы движения КА, работу АО, взаимодействие зон обнаружения АО непосредственно с ПМО. Вторая – вложенная ИМ (ВИМ) – в отличие от ОсИМ должна отображать взаимодействие зон обнаружения АО не с ПМО, а с динамически перемещающимися и изменяющимися в размерах их ОВП (эта информация получается на основе работы алгоритмов прогнозирования движения ПМО с учетом данных о ПМО, приходящих в ЦПОИ при реализации плана).

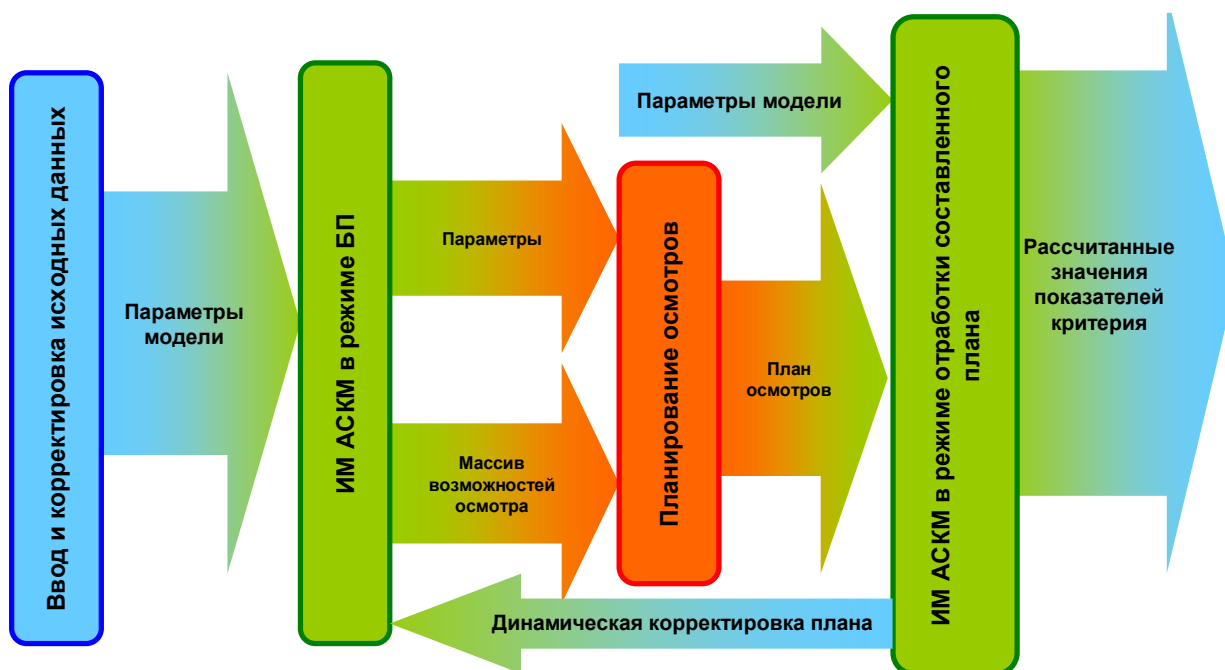


Рис. 1. Схема функционирования ИМ АСКМ в режиме планирования и отработки плана

Возникает техническая проблема организации взаимодействия между этими двумя ИМ. Должен быть реализован следующий процесс работы с этими ИМ: перед составлением плана запускается ВИМ, с помощью которой получают исходные данные для составления плана, затем запускается ОсИМ, в которой составленный план (или план очередной корректировки) начинает реализовываться и оценивается эффективность его реализации. Далее наступает момент решения задачи корректировки: фиксируется состояние ОсИМ, включаются в работу алгоритмы прогнозирования ОВП ПМО, запускается ВИМ, решается задача корректировки. Последние два этапа циклически повторяются на плановом периоде.

Технически для реализации и ОсИМ, и ВИМ, используется одна и та же имитационная программа в разных режимах работы. При наступлении события «КА передает данные в НИК» ОсИМ приостанавливается, сохраняет свое текущее состояние (расположение КА,

расположение ОН и их формуляры и т.д.) и производит вызов ВИМ. Дополнительная модель загружает сохраненное состояние и выполняет баллистический прогноз на его основе. После этого на основе полученного баллистического прогноза строится новый план наблюдений, который корректирует предыдущий (только по тому КА, по которому произошло событие «КА передает данные в НИК»). После выполнения перепланирования КА, ВИМ посылает сообщение о завершении своей работы, и ОсИМ возобновляет моделирование.

Заключение

В рамках рассматриваемой работы были проведены многочисленные эксперименты с использованием ИМ АСКМ, исследования их результатов, сравнение показателей с аналогичными показателями реальных систем, проведен анализ эффективности предложенных методов, подходов и алгоритмов. По результатам проделанной работы сформулированы следующие выводы:

1. Предложенная в работе формализованная постановка задачи планирования адекватно отображает все факторы, влияющие на эффективность функционирования АСКМ ПМО.
2. Разработанный метод и алгоритм решения задачи планирования характеризуется высокой точностью и быстродействием, что является важным при создании реальной системы.
3. Реализация динамического процесса корректировки формируемого плана обеспечивает существенное приращение конечных показателей эффективности рассматриваемой системы.
4. Разработанная и представленная в данной работе система вложенных имитационных моделей является эффективным инструментальным средством для оценки показателей качества АСКМ ПМО и входящих в ее состав алгоритмов планирования и корректировки плана наблюдений ПМО.

Библиографический список

- [1] А.Б. Землянов, Г.Л. Коссов, В.А. Траубе. Система морской космической разведки и целеуказания. – Санкт-Петербург: Галлея ПРИНТ, 2002 г., 216 с.
- [2] В.В. Малышев, М.Н. Красильщиков, В.Т. Бобронников, О.П. Нестеренко, А.В. Федоров. Спутниковые системы мониторинга. *Анализ, синтез и управление*. –М.: МАИ, 2000 г., 566 с.

[3] Хахулин Г.Ф., Новиков С.А., Посадский А.И., Ескин В.И. Задача планирования наблюдений подвижных морских объектов в системе космического мониторинга. // Вестник Московского авиационного института. – 2007, Т. 14, № 3. – С. 125-130.

[4] Хахулин Г.Ф., Красовская М.А., Булыгин В.С. Теоретические основы автоматизированного управления (Задачи, методы, алгоритмы теории оптимального планирования и управления). – М.: МАИ, 2005 г., 395 с.

[5] Хахулин Г.Ф., Монахов С.В. Система имитационного моделирования Modelling для разработки дискретных и непрерывно-дискретных моделей. – М.: МАИ, 2007 г., 177 с.

[6] Хахулин Г.Ф., Новиков С.А., Посадский А.И., Ескин В.И. Результаты исследования алгоритмов планирования наблюдений в автоматизированной системе космического мониторинга подвижных морских объектов. // Вестник Московского авиационного института. – 2009, том 16, №4. – С. 81-90.

Сведения об авторах

Посадский Алексей Игоревич, аспирант Московского авиационного института (государственного технического университета), posad@zmail.ru

Новиков Сергей Александрович, старший научный сотрудник, к.т.н. Московского авиационного института (государственного технического университета), schrank@mail.ru