электронный журнал
МОЛОДЕЖНЫЙ НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ ВЕСТНИК
Издатель ФГБОУ ВПО "МГТУ им. Н.Э. Баумана". Эл No. ФС77-51038.

УДК 608.2

Идентификация космических объектов на ГСО и ВЭО по оптическим измерениям

 # 05, май 2012

Вихрачев В.О.

Студент,
кафедра «Динамика и управление полётом ракет и КА»

Научный руководитель: Баранов А.А.,
к.ф.-м.н., с.н.с ИМП им. М.В. Келдыша

МГТУ им. Н.Э. Баумана
bauman@bmstu.ru

Список принятых сокращений
ВОКО – высокоорбитальный космический объект
ВЭКО – космический объект на высокоэллиптической орбите
ВЭО – высокая эллиптическая орбита
ГСО – геостационарная орбита
КА – космический аппарат
КО – космический объект
НОКО – низкоорбитальный космический объект
ОКП – околоземное космическое пространство
РЛС – радиолокационная станция
СН – средство наблюдения

Анализ текущей ситуации мониторинга космического пространства.

В 60-е года, с началом космической эры в околоземном космическом пространстве возникла и стала стремительно наращиваться популяция техногенных космических объектов, что привело к новой важной заботе и даже обязанности – держать процесс техногенного «заселения» ОКП под пристальным вниманием и контролем, т. е. вести космический мониторинг.

Технически это означает необходимость иметь постоянно обновляемые кинетические параметры (позиционные координаты и соответствующие компоненты скорости) для как можно большего множества КО. Без этого нельзя поддерживать устойчивую коммуникацию с действующими космическими аппаратами и кораблями, осуществлять оперативное управление ими с Земли, следить за положением и перемещением космического мусора в ОКП с целью предупреждения столкновения его элементов с действующими КА и предсказания возможного падения крупных обломков на Землю, не говоря уже о полноценном научном изучении процесса техногенного засорения ОКП.

Весомый вклад в реализацию функции контроля космического пространства вносят самостоятельные (независимые) средства наблюдения (радиолокационные, оптические, оптико-электронные, радиотехнические) различных стран. Главным продуктом этого контроля служит динамический каталог космических объектов, который ведется и обновляется за счет измерений, получаемых от средств наблюдения.

Проблема поиска КО связана в основном с высокоорбитальными КО. Для обнаружения низкоорбитальных КО она неактуальна. Существующая сеть радиолокационных средств непрерывно контролирует обширную область космического пространства. Большое число прохождений НОКО через зоны контроля РЛС, обусловленное значительным количеством последних, высокой их производительностью и малым периодом обращения НОКО, легко решает вопрос о получении достаточно плотного потока измерений по всем НОКО для реализации принципа их пассивного обнаружения(без поиска). В соответствии с этим принципом параметры орбит новых КО получаются как «отходы производства» уточненных параметров орбит каталогизированных КО, и не требуется специальных, поисковых режимов работы средств наблюдения.

Однако дальность действия РЛС довольно ограничена. Поэтому совершенно иначе обстоит дело с решением проблемы обнаружения ВОКО. Невозможность создания достаточно мощного сплошного и непрерывного во времени электромагнитного поля в дальнем космосе, которое перекрывало бы все возможные траектории движения ВОКО, составляет единственно приемлемым решением проблемы обнаружения ВОКО принцип активного поиска их с помощью оптических, оптико-электронных и узколучевых радиолокационных средств.

Действие ряда специфических для области высоких орбит факторов усложняет организацию контроля ВОКО, приводит к возникновению поисковых ситуаций не только на этапе первоначального обнаружения новых ВОКО, но и на последующих этапах контроля их движения, обусловливает труднодоступности дефицит измерений, чрезмерную энергоемкость и трудоемкость процесса контроля высокоорбитальных КО, его большую неустойчивость.

Такими факторами являются:

- Массовые коррекции орбит (маневрируют все действующие КА);
- фактор малой мерной дуги (обусловленный слишком большими периодами обращения ВОКО и выражающийся в необходимости использования весьма продолжительных во времени и протяженных в пространстве мерных интервалов для достижения приемлемой точности определения орбит);
- метеоусловия и фаза освещенности КО (существенные для оптических средств);
- значительная удаленность и большой объем области высоких орбит(в сотни и тысячи раз превышающий объем низкоорбитальной области);
- сужение поля зрения средств с увеличением дальности объектов наблюдения;
- сравнительно низкий уровень полезного сигнала;
- ограниченная производительность средств наблюдения и др.

Таким образом, методология обнаружения и устойчивого массового контроля движения ВОКО должна существенно отличаться от таковой для НОКО.

Одним из методов поиска ВОКО являются обзоры некоторых областей небесной сферы с целью обнаружения всех доступных данному средству наблюдения КО, находящихся в этой области.

В этом случае СН осуществляют сканирование заданной области небесной сферы (обычно довольно обширной и неподвижной в каждом цикле) по некоторой заранее выбранной стратегии и обнаружение всех попадающихся КО, сигнал от

которых имеет энергию, достаточную для восприятия его приемником СН. Настоящая работа посвящена описанию алгоритма привязки полученных таким образом оптических измерений к каталогизированным КО.

Постановка задачи

Привязка оптических измерений к космическим объектам (КО) требует сопоставления полученных от наблюдателей измерений с орбитальными параметрами объектов, содержащихся в каталоге. В настоящее время за одни сутки могут быть получены измерения более тысячи КО. Количество КО на орбитах ГСО и ВЭО, содержащихся в каталоге составляет около 5 тысяч. Таким образом, прямое сравнение орбитальных данных КО с измерениями требует нескольких миллионов сопоставлений, что при использовании точной модели прогнозирования привело бы к неприемлемым вычислительным затратам. Поэтому отождествление наблюдаемых КО с КО, содержащимися в каталоге, проводится в несколько этапов.

Описание алгоритма

Исходной информацией для привязки измерений к КО служат:

– Параметры движения $\bar{q}_{k,j} = \bar{q}_k\left(t_j\right)$ каталогизированных КО $S_k, k = 1,2,...,N$, $j = 1,2,...,M$ (S_k – идентификатор k-го КО). Под параметрами $\bar{q}_{k,j}$ понимается набор орбитальных параметров КО, отнесенных к моменту времени t_i и представленных в форме, допускающей прогнозирование на любой заданный момент времени внутри общего для всех КО интервала применимости $\left[t_{begin}, t_{end}\right]$. Это могут быть векторы состояния КО, классические элементы орбиты или другие параметры численных или аналитических расчетных процедур, сопровождающих каталог. Предполагается, что параметры $\bar{q}_{k,j}$ сопровождаются ковариационной матрицей ошибок $K_{k,j}$. (Если такая матрица отсутствует, то она может быть сформирована эмпирически на основе опыта работы с данным каталогом)

– $\mathbf{\Psi}_i$, $i = 1,2,...,n$ массивы сеансов измерений. Каждый сеанс $\mathbf{\Psi}_i\left\{\bar{\psi}_{i,1},...,\bar{\psi}_{i,n_i}\right\}$ представляет собой набор выполненные в течение одной ночи и отнесенных к моментам времени $t_{i,1},...,t_{i,n_k}$ наблюдений $\bar{\psi}_{i,j} = \bar{\psi}_i\left(t_j\right)$, одного непривязанного к каталогу объекта s_i, где s_i – идентификатор КО, соответствующий данному сеансу измерений (далее идентификатор сеанса).

– t_i, $\bar{X}_i$ $k = 1,2,...,n$ времена и векторы состояния КО соответствующие этим сеансам, полученные в результате работы задачи определения начального приближения по измерениям одного сеанса $\mathbf{\Psi}_i\left\{\bar{\psi}_{i,1},...,\bar{\psi}_{i,n_i}\right\}$

– K_{xi} ковариационные матрицы ошибок векторов $\bar{X}_i$

Результатом работы задачи является таблица (табл.1)**,** устанавливающая соответствие между идентификатором сеанса s_i и идентификатором S_k, определяющая принадлежность сеанса измерений известному объекту из каталога

Таблица 1

s_1	S_1
s_n	S_n

На первом этапе для того, чтобы уменьшить количество сравнений орбитальных данных КО с измерениями формируются массивы претендентов КО из каталога, отобранных по наклонению. В предположении, что в интервале достоверности прогнозирования $\left[t_{begin}, t_{end}\right]$ изменение наклонения за счет эволюции не превышает одного градуса, нет необходимости проводить прогноз для параметров $\bar{q}_k$, если наклонение k-го КО принадлежит соответствующему интервалу.

На втором этапе сопоставление параметров $\bar{q}_k$ и векторов состояния $\bar{X}_j$ проводится с использованием при прогнозировании модели невозмущенного кеплерово движения, что позволяет многократно сократить время прогнозирования для значительного количества КО.

На третьем этапе проводится отождествление векторов $\bar{q}_k$ и $\bar{X}_j$ с использованием при прогнозировании параметров $\bar{q}_k$ адекватной модели движения, т.е. той модели движения (аналитической или численной), в рамках которой были получены векторы $\bar{q}_k$ при формировании каталога. Прогнозирование параметров $\bar{q}_k$ на моменты времени t_j осуществляется в случаях, если на двух предыдущих этапах проверка показала возможность соответствия параметров $\bar{q}_k$ вектору $\bar{X}_j$. Полученный в результате прогнозирования вектор состояния КО $\bar{X}'_k\left(t_j\right) = \bar{X}\left(t_j, q_k\right)$ сопоставляется с вектором $\bar{X}_j$. Критерием соответствия служит величина:

$$\varepsilon_3 = \left(\bar{X}'_k - \bar{X}_j\right)(K_{xj} + K_{q_k}^{t_i})\left(\bar{X}'_k - \bar{X}_j\right)^T,$$

где K_{xj}-ковариационная матрица ошибок вектора состояния, построенного по проводке измерений;

$K_{q_k}^{t_i}$-ковариационная матрица ошибок вектора состояния в результате прогноза КО на время t_j.

Если ε_3 превышает заданное предельное значение, то устанавливается факт отсутствия соответствия, т.е. измерения $\mathbf{\Psi}_i$ не принадлежат КО $\bar{q}_k$. В противном случае проверка продолжается на этапе 4.

На четвертом этапе осуществляется непосредственное сравнение параметров $\bar{q}_k$ с измерениями $\mathbf{\Psi}_i$. Для каждого оставшегося (т.е. не исключенного на предыдущих этапах) паросочетания $\left\{\bar{q}_k, \mathbf{\Psi}_i\right\}$ вычисляется функционал:

$$\Phi_{ki} = \Phi_k\left\{\bar{q}_k, \mathbf{\Psi}_i\right\} = \sum_{j=1}^{n_i}\left[\bar{\psi}_j^i - \bar{\psi}\left(t_j^i, \bar{q}_k\right)\right]\left(K_{\psi_j^i} + K_{q_k}^{t_j^i}\right)^{-1}\left[\bar{\psi}_j^i - \bar{\psi}\left(t_j^i, \bar{q}_k\right)\right]^T,$$

где $K_{q_k}^{t_j^i}$-ковариационная матрица ошибок вектора состояния в результате прогноза КО на время t_j^i, пересчитанная в параметры измерений;

$K_{\psi_j^i}$-ковариационная матрица ошибок параметров измерений.

Если Φ_{ki} *меньше* предельного значения ε_4, то соответствие между параметрами $\bar{q}_k$ и измерениями $\mathbf{\Psi}_i$ считается установленным.

Заключительный *пятый этап* идентификации осуществляется с целью устранения т.н. «конфликтов», которые могут возникнуть в результате отождествления.

Список литературы

1. Вениаминов С.С. Введение в теорию планирования поиска космического объекта по неточной априорной информации о его орбите. – М.:2010. – 139 с.;

2. Саврасов Ю.С. Методы определения орбит космических объектов. – М.: Машиностроение, 1981. – 174 с.