

МЕТОД ПОВЫШЕНИЯ ТОЧНОСТИ ОБРАБОТКИ ДАННЫХ ТРАЕКТОРНЫХ ИЗМЕРЕНИЙ

Мотылев К. И., Паслён В.В.

*Донецкий национальный технический университет, Украина
kmotylov@rtf.donntu.edu.ua*

В статье рассматривается метод повышения точности обработки данных о траектории космического или летательного аппарата. Цель достигается путем учета избыточной траекторной информации радиолокационных и кинотеодолитных станций.

В настоящее время современные космические технологии являются одним из важнейших факторов, определяющих стратегическое место государства в мире. Современная космическая деятельность высокоразвитых государств направлена на экономическое и научно-техническое развитие, решение глобальных проблем человечества и использование космической техники для обеспечения стабильного развития. С развитием летательных и космических аппаратов актуальным становится вопрос повышения точности измерений и обработки траекторной информации. При разработке летательного аппарата (ЛА) из-за невозможности получения необходимого теоретического описания до 40% всех возникающих проблем решаются при помощи испытаний [1]. Высокие требования к точности и достоверности траекторных измерений обусловлены тем, что по их результатам вырабатываются ответственные решения о качестве и пригодности ЛА.

В настоящее время для контроля траектории ЛА или космического аппарата (КА) используются радиотехнические (радиолокаторы) и оптические (кинотеодолиты) средства контроля траекторий. Траектория считается известной, если в любой момент времени заданного временного интервала известен вектор текущего положения центра масс объекта в выбранной системе координат.

По наличию сведений о траектории движущегося объекта траектории делятся на 2 основные категории:

- детерминированные траектории (ДТ);
- случайные траектории (СТ).

Траектория движения объекта называется детерминированной, если совокупность действующих на объект сил известна с достаточной степенью точности. Каждая ДТ может быть описана определенным числом траекторных параметров [1]. Методы обработки информации о ДТ детально рассмотрены в работах [2, 3]. Примерами ДТ являются эллиптические, параболические и гиперболические орбиты КА (рис. 1).

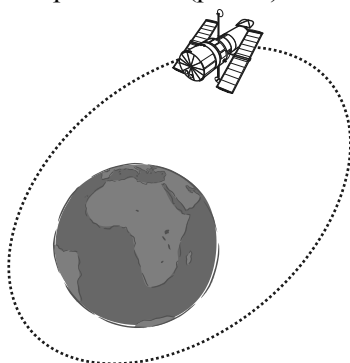


Рисунок 1 – Пример ДТ

На практике редко имеются все необходимые априорные сведения о силах, действующих на объект. Также зачастую эти силы известны со значительными ошибками и их нельзя учитывать в дальнейших расчетах. В этом случае имеем дело со случайной траекторией. Примерами СТ являются траектории маневрирующих летательных и космических аппаратов, где точно учесть силы тяги, сопротивления и другие факторы практически невозможно (рис. 2).

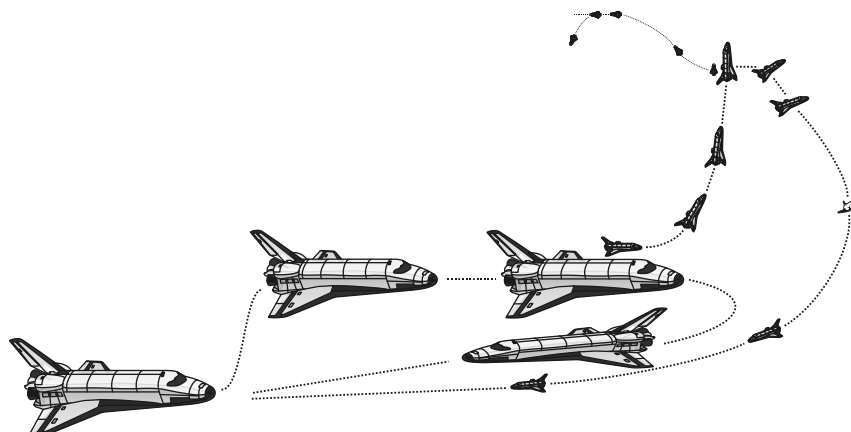


Рисунок 2 – Пример СТ

Методы измерений и обработки информации о случайных траекториях рассматривались в работах [1, 4].

Траекторную информацию подразделяют на первичную и вторичную информацию о траектории объекта. К первичной информации относятся полученные непосредственно с измерительных средств, например, дальность, азимут и угол места (R, α, β). После обработки первичной информации получают вторичную информацию (X, Y, Z) в привязке к заданной системе координат.

Точка траектории определена в пространстве, если множество ξ содержит минимально-необходимый или избыточный объем информации ($m \geq 3$). Методы, основанные на обработке минимально-необходимого ($m = 3$) или минимально-избыточного ($m = 4$) объема информации, называются простыми, а метод для обработки информации произвольного ($m \geq 3$) объема называется обобщенным [1]. Таким образом, траекторная информация может обладать избыточностью.

Временная избыточность (ВИ) возникает при высокой частоте съема информации, что обусловлено необходимостью регистрировать высокодинамичные участки траектории, различные характерные явления и развитие возможных аварийных ситуаций при различного рода испытаниях техники и вооружения.

Пространственная избыточность (ПИ) является следствием многократного дублирования измерений различными средствами, что первоначально создавалось с целью повышения надежности измерений.

Простые методы обработки данных траекторных измерений основаны на аналитическом определении точки пересечения минимального количества поверхностей положения, число которых зависит от мерности пространства, в котором оценивается положение объекта.

Но использование простых методов не приводит к лучшим результатам, т.к. они обладают существенными недостатками [1]:

- не используют избыточность траекторной информации;
- имеют большие сроки обработки из-за своей не универсальности;
- имеют обширные зоны низкой точности;
- не учитывают корреляцию ошибок измерений;
- не могут автоматически приспосабливаться к изменяющейся форме случайной траектории и метрологическому состоянию измерителей;
- не являются общими для широкого диапазона условий;
- не удовлетворяют возросшим требованиям к точности;
- не учитывают не равноточность измерений;
- не реализуют в полной мере возможностей современных вычислительных систем.

В начале 60-х гг. профессором Огородничуком Н. Д. был разработан обобщенный метод обработки данных внешнетраекторных измерений. Данный метод позволяет учесть всю

имеющую пространственную избыточность траекторной информации и обладает рядом преимуществ по сравнению с простыми методами [1]:

- обеспечивает оптимальную точность обработки избыточной информации любого объема и типа практически при любом расположении измерительных средств;
- допускает обработку информации минимального объема с сохранением точности соответствующих простых методов;
- является эффективным при любых флуктуациях случайных ошибок измерений;
- сочетается с любыми методами реализации ВИ (сглаживанием, фильтрацией) при последовательной обработке данных измерений [5];
- позволяет осуществлять оперативный контроль и самоконтроль точности измерительной системы параллельно с основной обработкой;
- применяется в адаптивных алгоритмах для отбора существенной первичной информации при ее математической обработке;
- обеспечивает построение зон повышенной точности для обоснования выбора, размещения и эффективного использования измерительных средств в системах контроля траекторий.

Обобщенный метод является оптимальным по точности методом для обработки информации о траектории движущихся объектов, позволяя использовать всю пространственно-избыточную информацию и учитывая погрешности каждого измерительного средства.

Обобщенный метод основан на анализе функции правдоподобия апостериорной плотности вероятностей множества первичной информации. Поскольку метод является статистическим, полученное с его помощью решение принято называть статистической оценкой (СО). При нормальном законе распределения ошибок измерений СО обладает свойствами состоятельности, несмещенности и асимптотической эффективности.

Согласно обобщенному методу СО положения объекта по избыточной первичной информации находится методом последовательных приближений. Для этого задаем исходным приближением r_0 (оно находится каким-либо из простых методов), на его основе находим первое приближение r_1 , и т.д., пока не приблизимся с достаточной степенью к СО.

Для вычисления СО через ряд последовательных приближений необходимо знать:

- объем, типы и значения первичных координат;
- точность первичных координат;
- уравнения поверхностей положения;
- градиенты поля соответствующих первичных координат;
- положения измерительных станций;
- исходное приближение оценки положения объекта.

Исследования [6] показывают, что точность СО положения объекта зависит только от:

- объема, типа и точности измерений первичной информации;
- взаимного положения объекта измерений и измерительных средств.

Также преимуществом обобщенного метода является то, что в процессе вычисления зоны высокой точности различных простых методов объединяется воедино и дополняется рядом промежуточных областей с повышенной точностью. При этом в каждой из них точность местоопределения выше точности любого простого метода, основанного на обработке минимально-необходимой первичной информации [7].

В результате исследования возможностей и точностных характеристик обобщенного метода получены следующие результаты.

В среде Borland Delphi был реализован алгоритм обработки данных внешнетраекторных измерений, обладающих пространственной избыточностью. Программа предусматривает моделирование 1728 моделей траекторий и установку одной и более измерительных станций с заданием ее координат. Группу исследуемых траекторий можно видеть на рис. 3.

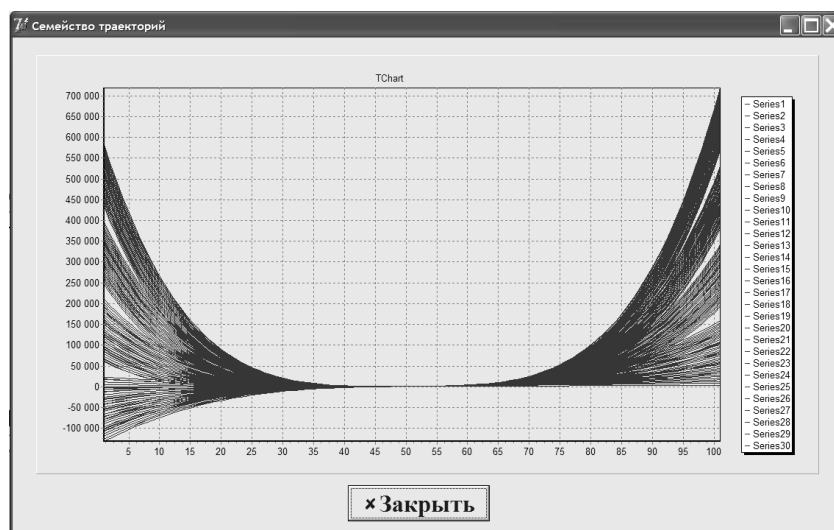


Рисунок 3 – Модели траекторий для исследования метода

С помощью программы исследовались различные варианты работы метода при изменении объема и типа первичной информации, а также при изменении взаимного расположения объекта измерений и измерительных средств. В результате были получены числовые характеристики работы метода, а именно, повышение точности конечного результата по сравнению с простыми методами.

При наличии 1 измерительной станции точность конечных результатов не изменилась, т.к. пространственная избыточность отсутствует.

При установке двух измерительных станций точность конечных результатов возросла в 7,3..8.6 раз в зависимости от взаимного расположения измерительных средств и объекта измерений.

При наличии трех измерительных станций точность конечных результатов возросла в 11,3..15.4 раза.

Дальнейшее повышение степени избыточности (установка дополнительных измерительных средств) экономически нецелесообразно, т.к. не приводит к заметному повышению точности результата.

ЛИТЕРАТУРА

1. Огороднийчук Н. Д. Обработка траекторной информации. - К.: изд. КВВАИУ, ч.1, 1981. – 224с.
2. Агаджанов П. А., Дулевич В. Е., Коростелев А. А. и др. Космические траекторные измерения. - М.: Советское радио, 1969. – 488с.
3. Жданюк Б. Ф. Основы статистической обработки траекторных измерений. - М.: Советское радио, 1978. – 384с.
4. Кушнарев П. И., Огороднийчук Н. Д., Лакеев А. М. Статистические методы контроля точности траекторных измерительных средств. - М.: Физматгиз, 1968. – 317с.
5. Огороднийчук Н. Д. Обработка траекторной информации. - К.: изд. КВВАИУ, ч.2, 1981. – 144с.
6. Мотылев К. И., Михайлов М. В., Гончаров Е. В., Паслен В. В. Обработка данных измерений, обладающих пространственной избыточностью // Материалы Международной научной конференции “Излучение и рассеяние ЭМВ – ИРЭМВ-2005”. – Таганрог: изд. ТРТУ, 2005. – 438с.
7. Мотылев К. И., Михайлов М. В., Щербов И. Л., Паслен В. В. Методы обработки данных измерений, обладающих пространственной и временной избыточностью // Системные технологии. Региональный межвузовский сборник научных трудов. - Выпуск 8 (43). - Днепропетровск, 2006 – 149 с.