

УДК 656.7.052 (075.8)

© А. Г. Иванов

РЕШЕНИЕ ЗАДАЧИ ИДЕНТИФИКАЦИИ СИСТЕМАТИЧЕСКИХ ОШИБОК НЕСКОЛЬКИХ РЛС ПО АЗИМУТУ ПРИ ПОМОЩИ АЛГОРИТМА МНОГОМЕРНОЙ ОПТИМИЗАЦИИ¹

Рассматривается задача нахождения систематических ошибок нескольких РЛС по азимуту при наблюдении за движением воздушного судна на некотором промежутке времени. Исходные данные по каждой РЛС представляют собой наборы замеров наклонной дальности и азимута. При вычислении систематических ошибок дополнительно восстанавливается траектория движения воздушного судна в трехмерном пространстве. Разработанные алгоритмы протестированы на модельных и реальных данных. Рассматривается вариант зависимости систематической ошибки от направления на воздушное судно.

Ключевые слова: РЛС, идентификация параметров, обратная задача, восстановление траектории движения, методы оптимизации, численное моделирование.

1. Систематическая ошибка радиолокатора (РЛС) по азимуту приводит к пространственному смещению наблюдаемого трека воздушного судна (ВС). Если одно и то же движение ВС наблюдается при помощи нескольких РЛС, то естественно возникает задача «сведения» треков, полученных от разных РЛС. Систематические ошибки по азимуту являются существенным фактором, влияющим на взаимное расположение треков. Поэтому их идентификация является важной задачей. Считаем, что измерение дальности систематическими ошибками не характеризуется.

Работа посвящена решению задачи идентификации систематических ошибок нескольких РЛС по азимуту. Предполагается, что каждая РЛС замеряет в своей локальной системе координат наклонную дальность и азимут. Некоторые РЛС также выдают информацию о высоте ВС над уровнем моря. Замеры от разных РЛС приходят со своим тактом по времени и сопровождаются случайными ошибками.

При больших размерах зоны управления воздушным движением (характерный размер — 150 км и более) применение в расчетах модели «плоской Земли» дает большие ошибки, поэтому используется модель Земли в форме шара. Разработанный ранее алгоритм идентификации, использующий модель плоской Земли, описан в [1].

2. Для решения задачи идентификации вводится понятие «восстанавливаемого» трека. Восстанавливаемый трек представляет собой ломаную линию в трехмерном пространстве. Каждой вершине ломаной приписан момент времени. Координаты вершин ломаной можно рассматривать как независимые переменные. При зафиксированных координатах любому моменту времени соответствует точка восстанавливаемого трека (предполагается, что между вершинами ломаной время изменяется равномерно).

Наклонная дальность и азимут РЛС-замера дают неопределенность положения наблюдаемого ВС в трехмерном пространстве в виде окружности, лежащей в плоскости, перпендикулярной к местному горизонту в точке положения соответствующей РЛС. Если для РЛС-замера известна высота над уровнем моря, то множество неопределенности является точкой (неопределенности нет).

Неубывающую функцию от расстояния между множеством неопределенности замера (окружностью или точкой) и точкой восстанавливаемого трека, соответствующей моменту РЛС-замера, назовем невязкой РЛС-замера. Как показало моделирование, в качестве невязки лучше взять квадратичную функцию расстояния (которая является неубывающей при неотрицательном аргументе).

¹Работа выполнена в рамках программы фундаментальных исследований Президиума РАН «Динамические системы и теория управления», при финансовой поддержке УрО РАН (проект 12-П-1-1002), а также при поддержке РФФИ (гранты №№ 10-01-96006-урал-а, 12-01-00537).

Конструируем функцию, аргументами которой являются координаты вершин восстанавливаемого трека и систематические ошибки по азимуту для всех локаторов, наблюдающих одно ВС. Используя систематические ошибки, сделаем поправки на значения азимута для всех РЛС-замеров. После этого просчитаем все невязки замеров и просуммируем их. Результат считаем значением функции. Тогда значение аргумента, доставляющее минимум функции, будет состоять из вершин восстанавливаемого трека (приближающего реальную траекторию ВС) и значений систематических ошибок по азимуту, обеспечивающих наилучшее сведение траекторий от разных РЛС. Таким образом, задача нахождения систематических ошибок по азимуту сводится к задаче поиска точки минимума функции многих переменных.

3. Для решения задачи минимизации использовался алгоритм Хука–Дживса [2], дающий хорошие результаты при большом числе переменных. В рассматриваемой задаче размерность аргумента минимизируемой функции лежит в пределах 50–600 в зависимости от исходных данных и параметров решения. Для повышения вероятности попадания в глобальный минимум алгоритм дополнен [3] элементами случайного поиска (метод Монте-Карло).

Алгоритм отлаживался как на модельных, так и на реальных данных.

4. При анализе зависимости восстанавливаемой систематической ошибки от направления между точкой расположения РЛС и средней точкой РЛС-трека (среднего азимута РЛС-трека) на реальных данных наблюдений было замечено, что для многих РЛС существует корреляция между восстанавливаемой ошибкой и направлением на РЛС-трек. На основании этого было сделано предположение, что существует зависимость систематической ошибки по азимуту от азимута РЛС-замера.

В связи с этим создан вариант программы восстановления систематической ошибки по азимуту, учитывающий зависимость ошибки от азимута РЛС-замера. Предусмотрены два типа функций, аппроксимирующих такую зависимость: кусочно-линейные и тригонометрические.

Список литературы

1. Федотов А.А., Иванов А.Г., Бедин Д.А., Беляков А.В., Строков К.В. Разработка и внедрение алгоритмов автоматизированных систем УВД (этап 3). Идентификация систематических ошибок нескольких РЛС по азимуту / Отчет о научно-экспериментальной работе. Екатеринбург: ИММ УрО РАН, 2010. 45 с.
URL: <http://home.imm.uran.ru/sector3/otchetIMM1007/nita2010-7.html>
2. Банди Б. Методы оптимизации (вводный курс). М.: Радио и связь, 1988. 128 с.
3. Иванов А.Г. Параллельная программа поиска минимума // Высокопроизводительные вычисления и их приложения: Труды Всероссийской научной конференции (30 октября – 2 ноября 2000 г., Черноголовка). М.: Изд-во МГУ, 2000. С. 250–252.

Поступила в редакцию 15.02.2012

A. G. Ivanov

Solution of the problem of identification of systematic errors of several radars in azimuth with multidimensional optimization algorithm

The problem of finding the systematic errors in azimuth of several radars by observing an aircraft motion on some time interval is considered. Input data from each radar are sets of measurements of the slant range and azimuth. The spatial trajectory of an aircraft is additionally reconstructed during calculation of the radar error in azimuth. The elaborated algorithms are tested on simulated and real data. Moreover, an option of algorithms is considered when the systematic error depends on the direction from the radar to the aircraft.

Keywords: radar, identification of parameters, inverse problem, reconstruction of trajectory, optimization techniques, numerical modeling.

Mathematical Subject Classifications: 65K10, 49N45, 90C56

Иванов Алексей Геннадьевич, гл. программист, Институт математики и механики УрО РАН, 620990, Россия, Екатеринбург, ул. С. Ковалевской, 16. E-mail: iagsoft@imm.uran.ru

Ivanov Aleksei Gennad'evich, chief programmer, Institute of Mathematics and Mechanics, Ural Branch of the Russian Academy of Sciences, ul. S. Kovalevskoi, 16, Yekaterinburg, 620990, Russia