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

УДК 658.513

Разработка способа повышения точности алгоритмов оценивания погрешностей навигационных систем

Шэнь К., *Магистр*
Россия, 105005, г. Москва, МГТУ им. Н.Э. Баумана,
кафедра «Системы автоматического управления»

Белявская А.Д., *Специалист*
Россия, 105005, г. Москва, МГТУ им. Н.Э. Баумана,
кафедра «Системы автоматического управления»

Научный руководитель: Неусыпин К.А., д.т.н, профессор
Россия, 105005, г. Москва, МГТУ им. Н.Э. Баумана
shenkaichn@mail.ru

Введение

Управление летательными аппаратами (ЛА) осуществляется на основе измеряемой информации о состоянии ЛА. В практических приложениях измеряемая информация искажена шумами различной природы, поэтому эта информация обычно подвергается обработке с помощью алгоритмов оценивания. Решение задачи оценивания осуществляется с помощью различных алгоритмов в зависимости от требований к точностным характеристикам и способам реализации.

Наиболее распространенными алгоритмами оценивания в задачах обработки информации в измерительных комплексах ЛА являются фильтр Калмана и его адаптивные модификации и нелинейный фильтр Калмана и его модификации. Эти традиционные методы оценивания предполагают использование полной математической модели исследуемого процесса, что требует достаточно мощных спецвычислителей. Это обстоятельство затрудняет реализацию традиционных алгоритмов оценивания на борту ЛА в условиях дефицита машинной памяти БЦВМ и спецвычислителя. С учетом увеличения задач решаемых в вычислителе на борту ЛА остается актуальной задача синтеза компактных алгоритмов оценивания.

1. Модель погрешностей ИНС для алгоритма оценивания

Классический метод оценивания фильтром Калмана предполагает использование полных уравнений системы в переменных состояния. Для системы имеющей высокий порядок, реализация алгоритма оценивания переменных состояния в БЦВМ сложна, а иногда вообще невозможна. Для проведения непосредственного оценивания в реальном масштабе времени необходимо использовать компактные математические модели, в частности модели погрешностей ИНС для каждого канала измерений.

Пусть объект описывается уравнением вида:

$$x_k = \Phi x_{k-1} + G w_{k-1} \qquad (1)$$

где x_{k-1} $- n$ -вектор состояния; $w_{k-1} - l$ -вектор входного шума, который является дискретным аналогом белого гауссового шума с нулевым математическим ожиданием; $\Phi - (n \times n)$ -матрица системы; $G - (n \times l)$ -матрица входного шума.

Часть вектора состояния измеряется:

$$z_k = H x_k + v_k \qquad (2)$$

где z_k $- m$ -вектор измерений; H $- (m \times n)$ -матрица измерений; v_k $- m$ -вектор измерительного шума, который является дискретным аналогом белого гауссового шума с нулевым математическим ожиданием, причем v и w некоррелированы между собой (т.е. $M[v_j w_k^T] = 0$).

Не теряя общности постановки задачи предположим, что измеряется одна компонента вектора состояния, т.е. $H = \begin{bmatrix} 1 & 0 & \dots & 0 \end{bmatrix}$.

Применение для коррекции ИНС методов линейной фильтрации предполагает полную наблюдаемость ошибок системы. Поэтому прежде чем воспользоваться подобной коррекцией, необходимо удостовериться, что вектор состояния системы, включающий ошибки ИНС, является наблюдаемым по используемым измерениям**.**

Под наблюдаемостью компоненты вектора состояния системы понимается возможность ее определения по измеряемому на конечном интервале времени сигналу.

Уравнения ошибок системы инерциальной навигации имеют вид:

$$\begin{aligned} \delta V_k &= \delta V_{k-1} - gT\varphi_{k-1} \\ \varphi_k &= \varphi_{k-1} - \frac{T}{R}\delta V_{k-1} + T\varepsilon_{k-1} \\ \varepsilon_k &= T\varepsilon_{k-1} \end{aligned} \qquad (3)$$

где δV_k – ошибка ИНС в определении скорости; ε_k – скорость дрейфа ГСП; φ_k – угол отклонения ГСП относительно сопровождающего трехгранника.

Коэффициенты модели (3) в процессе полета с течением времени могут изменяться, что при использовании этой модели в алгоритме оценивания приводит к снижению точности оценивания, а затем и к расходимости процесса оценивания.

В связи с этим целесообразно в процессе эксплуатации ИНС проводить идентификацию коэффициентов модели или строить модель по данным измерений. Наиболее распространенным способом построения компактных моделей является метод линейных трендов.

2. Линейный тренд

Линии тренда достаточно часто используются в задачах прогнозирования. С помощью регрессионного анализа можно продолжить линию тренда вперед или назад, экстраполировать ее за пределы, в которых данные уже известны, и показать тенденцию их изменения. Можно также построить линию скользящего среднего, которая сглаживает случайные флуктуации, яснее демонстрирует модель и прослеживает тенденцию изменения данных.

Линейные тренды, типа трендов Демарка отличаются простотой реализации и позволяют определить тенденцию изменения исследуемого процесса за минимальный интервал времени. Такие тренды можно использовать для прогноза с использованием коротких измерительных выборок.

Классические тренды Демарка определяются двумя точками, которые выбираются следующими способами:

Тренд, построенный по экстремальным точкам выборки, выражается в виде:

$$\hat{z}_{0i} = k_{0i} \cdot t_i + d_{0i} \qquad (4)$$

где $\hat{z}_{0i}$ – прогнозируемая величина, k_0, d_0 – параметры тренда, являющиеся крутизной и константой тренда соответственно, t_i – обозначает момент времени, в который используется данная модель для получения прогнозируемой величины.

k_0, d_0 получают следующим образом:

измерительная выборка разделяется на две определенные группы в зависимости от ее длительности, выбираются из каждой группы точки с максимальными и минимальными значениями. Для получения тренда соединяются прямой линией две точки, имеющие максимальное и минимальное значения, в следующей последовательности: при нисходящей тенденции выборки используется максимальное значение, а при восходящей тенденции выборки используется минимальное значение. Такие точки для укладки тренда в дальнейшем будем называть опорными точками.

Модель (4) имеет преимущество при изменении выборки с высокой динамикой.

Модифицированный тренд Демарка, построенный на основе осредненных значений выборки с выбранными опорными точками a_1, b_1, выражаются в виде:

$$\hat{z}_{1i}(a_1, b_1) = k_{1i} \cdot t_i + d_{1i}, \qquad (5)$$

где $\hat{z}_{1i}$ – прогнозируемая величина, k_1, d_1 – параметры тренда, являющиеся крутизной и константой, a_1, b_1 – координаты опорных точек, t_i – обозначает момент времени, в который используется данная модель для получения прогнозируемой величины.

k_1, d_1, a_1, b_1 получаются следующим образом:

измерительная выборка делится на две части. Осредняются величины всех точек в каждой части и получаются два средних значений, которые использованы как координаты опорных точек в сочетании с выбранными a_1, b_1. Соединяются прямой линией две опорные точки и получается тренд.

Модель (5) отличается более точной аппроксимацией к ближайшей тенденции выборки.

Классические тренды Демарка имеют невысокую точность, особенно в условиях интенсивного маневрирования объекта. Поэтому применять классические тренды Демарка в практических приложениях возможно лишь на более-менее прямолинейных участках полета и только для краткосрочного прогнозирования.

Список литературы

1. Пролетарский А.В., Неусыпин К.А. Способы коррекции навигационных систем и комплексов летательных аппаратов // Вестник МГТУ им. Н.Э.Баумана. Сер. Приборостроение. 2012. Спец. вып. № 5 «Информатика и системы управления». С. 216-223.
2. Салычев О.С. Скалярное оценивание многомерных динамических систем. М.: Машиностроение, 1987. 216 с.
3. Неусыпин К.А. Современные системы и методы наведения, навигации и управления летательными аппаратами. М.: изд-во МГОУ, 2009. 500 с.