

КОМПЛЕКСИРОВАНИЕ ИНФОРМАЦИИ ДЛЯ ОЦЕНИВАНИЯ УГЛОВОГО ПОЛОЖЕНИЯ ДВУХСТЕПЕННОГО БОРТОВОГО РАДИОПЕЛЕНГАТОРА

Флегонтов А.Г.

ОАО «НПО «АЛМАЗ» имени академика А.А. Расплетина», Москва

Введение

В работе предлагается рекуррентный метод оценивания текущего состояния динамической системы для решения задачи определения ориентации осей управляемого двухстепенного гиросtabilизатора, установленного на борту летательного аппарата (ЛА).

Предложенный метод рассматривается для оценивания положения осей гиросtabilизатора ЛА, базируется на процедуре Калмана для дискретной системы и основан на использовании как информации о положении ЛА, полученной на основании радиолокационных данных от внешнего измерителя, так и использовании информации о командах управления угловым положением двухстепенного гиросtabilизатора в пространстве.

Постановка задачи

Рассматривается задача оценивания текущего углового положения в неподвижной системе координат (МЗСК) осей гиросtabilизатора, установленного на борту ЛА и представляющего собой непрерывно-дискретную нелинейную систему.

К рассмотрению предлагается схема, включающая в себя эквивалентную дискретную модель движения двухстепенного управляемого гиросtabilизатора, дискретную модель внешнего измерителя углового положения гиросtabilизатора в пространстве и собственно дискретный цифровой фильтр.

Задача сводится к нахождению процедуры рекуррентной оценки вектора \tilde{X}_{gi} , минимизирующей критерий (1) на конечной траектории ЛА продолжительностью NT.

$$Q = \sum_{i=1}^N (\tilde{X}_{gi} - X_{gi})^T (\tilde{X}_{gi} - X_{gi}) \Big| Z_i, \omega_{\alpha i}, \omega_{\beta i} \quad (1)$$

Здесь X_{gi} - истинное значение вектора положения оси OX_{gi} гиросtabilизатора ЛА в неподвижной системе координат;

Z_i - измеренное значение вектора положения оси OX_{gi} гиросtabilизатора ЛА в неподвижной системе координат;

$\omega_{\alpha i}, \omega_{\beta i}$ - известные команды управления угловым положением гиросtabilизатора ЛА.

Определения

Матрицу, описывающую для i -го момента времени переход от МЗСК к связанной системе координат (ССК) ЛА обозначим как C_i .

Матрицу, описывающую для i -го момента времени переход от МЗСК к связанной системе координат гиросtabilизатора (СКГ) ЛА обозначим как G_i .

Заметим, что ортонормированная матрица G_i может быть представлена в виде трех эквивалентных Эйлеровых поворотов — в частности по азимуту $A_i = \arctg(G_{13i}/G_{11i})$, по возвышению $E_i = \arcsin G_{12i}$ и по крену $\gamma_i = \arctg(G_{32i}/G_{22i})$.

Очевидно, что получить текущую оценку элементов матрицы G_i (т.е. ориентацию осей $OX_{gi}, OY_{gi}, OZ_{gi}$), можно как произведение матриц $C_{\beta i} C_{\alpha i} C_i$, где $C_{\alpha i}$ и $C_{\beta i}$ - операторы поворота на измеряемые аппаратурой гиросtabilизатора ЛА углы связи α_i и β_i между ССК и СКГ.

Однако такой подход, традиционно применяемый на практике [2], не всегда позволяет получить приемлемые оценки текущего положения координатных осей двухстепенного управляемого гиросtabilизатора, если оценки положения связанной системы координат (ССК) ЛА в МЗСК (т.е. ориентация осей $OX_{ci}, OY_{ci}, OZ_{ci}$), описываемые для i -го момента времени матрицей перехода C_i известны на основании данных, полученных от внешнего измерителя, с большой погрешностью, обусловленной, как например, значительными погрешностями, связанными с оценкой углов атаки ЛА на больших высотах полета или ошибками измерения текущих координат ЛА на значительном удалении ЛА от внешнего радиолокационного измерителя.

Вычислительная схема

Осуществляется вычисление вектора состояния \tilde{X}_{gi} - взвешенной с коэффициентом k_i суммы двух нормированных векторов — «измеренного» вектора $\tilde{X}_{gi} = (G_{11i}, G_{12i}, G_{13i})^T$ полученного из произведения $C_{\beta i} C_{\alpha i} C_i$ и «пролонгированного» вектора $\tilde{X}_{gi} = (\tilde{G}_{11i}, \tilde{G}_{12i}, \tilde{G}_{13i})$, полученного путем интегрирования уравнений движения гиросtabilизированной платформы на основании имеющейся информации об известных командах управления угловой скоростью гиросtabilизатора $\omega_{\alpha i}$ и $\omega_{\beta i}$.

При этом имеет место следующий ряд допущений.

Модель ошибок гиросtabilизированной платформы по каналам α и β в общем случае может быть представлена эквивалентной неконтролируемой угловой скоростью уходов (2) для i -того момента времени относительно некоторого начального положения:

$$\begin{aligned} \omega_{E\alpha_i} &= \omega_{\alpha_0} + k_{\alpha_1} \cdot n_{Y_i} + k_{\alpha_2} \cdot n_{Z_i} + v_{\alpha_i} \\ \omega_{E\beta_i} &= \omega_{\beta_0} + k_{\beta_1} \cdot n_{Y_i} + k_{\beta_2} \cdot n_{Z_i} + v_{\beta_i} \end{aligned} \quad (2)$$

где: $\omega_{\alpha_0}, \omega_{\beta_0}, k_{\alpha_1}, k_{\beta_1}, k_{\alpha_2}, k_{\beta_2}$ - индивидуальные параметры гиросtabilизатора, имеющие известные статистические характеристики (3) по ансамблю изделий данного типа;

$$\begin{aligned} E\{\omega_{\alpha_0}\} &= 0 & E\{k_{\alpha_1}\} &= 0 \\ E\{\omega_{\alpha_0}^2\} &= \sigma_{\omega_{\alpha_0}}^2 & E\{k_{\alpha_1}^2\} &= \sigma_{k_{\beta_1}}^2 \\ E\{\omega_{\beta_0}\} &= 0 & E\{k_{\alpha_1}\} &= 0 \\ E\{\omega_{\beta_0}^2\} &= \sigma_{\omega_{\beta_0}}^2 & E\{k_{\beta_1}^2\} &= \sigma_{k_{\beta_1}}^2 \\ E\{v_{\alpha_i}\} &= 0 & E\{v_{\alpha_i}^2\} &= \sigma_{\omega_{\alpha}}^2 \\ E\{v_{\beta_i}\} &= 0 & E\{v_{\beta_i}^2\} &= \sigma_{\omega_{\beta}}^2 \end{aligned} \quad (3)$$

здесь n_{Y_i} - проекция боковой перегрузки ЛА на ось OY_{gi} ;

n_{Z_i} - проекция боковой перегрузки ЛА на ось OZ_{gi} ;

$v_{\alpha_i}, v_{\beta_i}$ - некоррелированные случайные шумовые составляющие в каналах управления угловой скоростью гиросtabilизатора.

Уравнения для данной дискретной системы могут быть записаны в следующем виде:

$$\begin{aligned} X_{gi} &= F_{i-1}(X_{gi-1}) + M_{i-1}\omega_{Ei-1} + B_{i-1}(T \cdot \omega_{\alpha_{i-1}}, T \cdot \omega_{\beta_{i-1}}, \gamma_i) \\ Z_i &= H_i(X_{gi}) + L_i w_i \end{aligned} \quad (4)$$

где

$(T\omega_{\alpha_{i-1}}, T\omega_{\beta_{i-1}}, \gamma_i)^T$ — вектор управления гиросtabilизатором;

ω_{Ei-1} — собственное движение гиросtabilизатора, определённое в (2);

γ_i — эквивалентный крен гиросtabilизатора;

Z_{i-1} — вектор наблюдений;

w_{i-1} — вектор шума измерителя;

F_{i-1} — переходная матрица гиросtabilизатора;

M_{i-1} — матрица, учитывающая собственное движение гиросtabilизатора;

L_i — матрица, учитывающая ошибки измерителя;

H_i — будем считать для простоты единичной матрицей, а операторы B_{i-1} и M_{i-1} представляются в общем виде нелинейными.

Статистические характеристики измерителя представлены в (5):

$$\begin{aligned} E\{w_i\} &= 0 \\ E\{w_j w_k^T\} &= R_k \delta_{kj} \end{aligned} \quad (5)$$

Принимая во внимание, что в динамической модели гиросtabilизатора управляющими воздействиями являются известные команды управления ω_{α_i} и ω_{β_i} и эквивалентный крен γ_i двухстепенного гиросtabilизатора, предлагается следующий рекуррентный алгоритм для вычисления на i -ый момент времени предсказания вектора \hat{X}_{gi} , и его сглаженного значения \tilde{X}_{gi} :

$$\begin{aligned} \hat{X}_{gi} &= F_{i-1}(\tilde{X}_{gi-1}) + B_{i-1}(T \cdot \omega_{\alpha_{i-1}}, T \cdot \omega_{\beta_{i-1}}, \gamma_i), \\ \tilde{X}_{gi} &= \hat{X}_{gi} + k_i \cdot (Z_i - H_i \cdot \hat{X}_{gi}) \end{aligned} \quad (6)$$

Если постоянные составляющие уходов гиросtabilизатора $\omega_{\alpha_0}, \omega_{\beta_0}, k_{\alpha_1}, k_{\beta_1}$ в (2) пренебрежимо малы по сравнению с шумовыми составляющими $v_{\alpha_i}, v_{\beta_i}$, а операторы B_{i-1} и M_{i-1} полагать линейными в

окрестности некоторой точки X_{g0} , то коэффициенты данного фильтра можно вычислять по известным [1] рекуррентным соотношениям (7):

$$k_i = \tilde{P}_i H_i^T (H_i \tilde{P}_i H_i^T + R_i)^{-1} \quad (7)$$

где: H_i и R_i определены ранее, \tilde{P}_i - ковариация экстраполяции, \tilde{P}_i - ковариация фильтра.

Результаты имитационного моделирования

В конкретном случае в силу нелинейности и нестационарности задачи поиск оптимальных коэффициентов фильтра осуществлялся в классе численных функционалов заданной структуры, параметрически определяемой условиями полета ЛА и оценками ковариационной матрицы ошибок измерителя с привлечением эталонной модели движения двухстепенного управляемого гиросtabilизатора и ЛА. Оптимизация коэффициентов фильтра осуществлялась численными методами на множестве реализаций траекторий ЛА в зоне применения. По результатам имитационного моделирования средний выигрыш предлагаемой схемы для реального ЛА составляет 1.3÷2.7 раза относительно штатной схемы по точности определения текущего углового положения гиросtabilизатора в МЗСК для траектории полета ЛА на большую дальность.

Выводы

Предложен алгоритм цифровой фильтрации для оценки текущего вектора состояния дискретно-непрерывной системы, использующий комплексирование результатов дискретных измерений с дополнительной априорной информацией о компонентах расширенного вектора состояния модели дискретно-непрерывной динамической системы.

Практическое применение данного алгоритма подтверждает эффективность такого подхода.

Литература

1. **Фарина А., Студер Ф.** Цифровая обработка Радиолокационной информации. Сопровождение целей. – М.: Радио и связь, 1993.
2. **Чембровский О.А., Топчев Ю.И., Самойлович Г.В.** Общие принципы проектирования систем управления. – М.: Машиностроение, 1972.