

© Полтавский А.В.
Poltavskiy A. V.

УПРАВЛЕНИЕ В КОРРЕКЦИИ ВЕРТИКАЛЬНОГО КАНАЛА БЕСПИЛОТНОГО ЛЕТАТЕЛЬНОГО АППАРАТА

CONTROL IN CORRECTION OF THE PILOTLESS FLYING VEHICLE VERTICAL CHANNEL

Аннотация. Рассматривается проблема навигации беспилотного ЛА по высоте как с коррекцией от спутника, так и от других систем. Если ошибки определения точности координат управляемого объекта «в горизонте» являются допустимыми, то ошибки в определении координат «по высоте» могут составлять недопустимые отклонения.

Одним из способов решения этого вопроса является определение координат управляемого объекта с помощью предлагаемых моделей алгоритмов фильтрации, достаточно адаптированных к современным техническим средствам и устройствам.

Annotation. The problem of pilotless FV navigation along altitude is considered with correction both from the satellite and from other systems. While mistakes in determination of guided object coordinate accuracy “in horizon” are allowable, mistakes in determination of coordinates “along altitude” can have unallowable deviations.

One of ways of this question solution is the determination of guided object coordinates by help of suggested filtration algorithm models adapted for modern technical means and devices enough.

Ключевые слова. Инерциально-навигационная система, бортовая цифровая вычислительная машина, ковариационные моменты, алгоритм фильтрации, управление в коррекции, беспилотные летательные аппараты.

Key words. Inertial navigation system, onboard computational machine, covariational moments, algorithm of filtration, control in correction, unmanned aircrafts

Введение

Интегрирование показаний вертикального акселерометра инерциальной навигационной системы (ИНС) приводит к неустойчивым решениям для скорости V и положения ρ беспилотного ЛА (БЛА) за счет вредного влияния обратной связи по гравитационному ускорению, что прямо следует из уравнения ошибок [1]:

$$\delta d^2\rho/dt^2 - 2f(\delta\rho)/\rho = r'.$$

Для правильного функционирования системы управления роботом, например беспилотным летательным аппаратом (БЛА) или подводным беспилотным управляемым объектом важно, чтобы $\delta\rho/dt$ и ρ определялись датчиками с большой точностью.

Информация об этих параметрах в навигационном комплексе используется [2]:

- при выполнении маневра в вертикальной плоскости;

- при стабилизации высоты движения;
- при компенсации методических ошибок в показаниях горизонтальных акселерометров.

Предлагаемая схема коррекции ошибок вертикального канала в управлении роботом с ИНС показана на рис.1

Алгоритм решения задачи

В бортовую ЦВМ поступают значения инерциальной скорости (выход первого интегратора ИНС) и барометрической высоты H_b . Блок КМО служит для компенсации методических ошибок инерциальной скорости. Примем следующую модель сигнала H_b барометрического датчика

$$H_b[n+1] = H[n+1] - H'[n+1]\tau,$$

где H, H' – точные значения высоты и вертикальной скорости;

τ – временная константа.

Полтавский Александр Васильевич – кандидат технических наук, старший научный сотрудник, старший научный сотрудник ИПУ РАН, тел. 334-85-79.

Poltavskiy Alexander Vasilyevich – the candidate of technical science, the senior scientific employee, the senior scientific employee of IPU RAS, tel. 334-85-79.

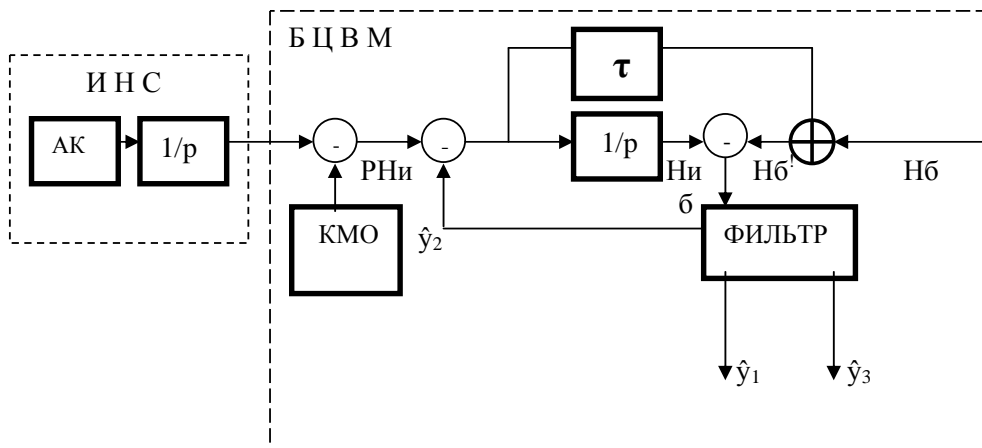


Рис. 1. Схема коррекции ошибок в вертикальном канале БЛА

Разность сигналов с двух датчиков информации (замер) рассчитывается по формуле

$$Z[k+1] = H_{и}[k+1] - H'б[k+1],$$

где $H_{и}[k+1]$ получается в результате интегрирования вертикальной скорости.

Переход $t[k] \rightarrow t[k+1]$ для ошибки в этой координате (на рис.1 точка б) определяется следующим образом:

$$y_1[k+1] = H_{к}[k+1] - H[k+1] = y_1[k] + \Delta \hat{y}_2[k] \Delta t.$$

Изменение этой же ошибки на одном шаге в точке а получим путем раскрытия выражения для Z

$$Z[k+1] = y_1[k] + \Delta \hat{y}_2[k] \Delta t + \Delta \hat{y}_2[k] \tau + V[k+1].$$

Ошибка $\Delta Z[k+1]$ в предсказании замера определяется зависимостью

$$\begin{aligned} \Delta Z[k+1] &= \Delta y_1^-[k+1] + V[k+1] = \\ &= \Delta \hat{y}_1[k] + \Delta \hat{y}_2[k](\tau + \Delta t) + V[k+1], \end{aligned}$$

а ошибки экстраполяции модели подсчитываются по следующим формулам:

$$\Delta y_1^-[k+1] = \Delta \hat{y}_1[k] + k_1(\tau + \Delta t) \Delta \hat{y}_2[k];$$

$$\Delta y_2^-[k+1] = k_1 \Delta \hat{y}_2[k] + k_3 \Delta \hat{y}_3[k];$$

$$\Delta y_3^-[k+1] = k_2 \Delta \hat{y}_2[k] + k_1 \Delta \hat{y}_3[k] + \theta r[k].$$

Для определения ковариационных моментов $P_{ij}[k+1]$ необходимо подсчитать дисперсию, вносимую θr . После несложных преобразований находим, что на каждом шаге Δt приращение дисперсии $P_{22}^-[k+1]$, определяемое шумом θr , равно $(\Delta t^3 / 3) V$.

В соответствии с выполненными преобразованиями получим следующее выражение:

$$\begin{aligned} P_{11}^-[k+1] &= P_{11}^+[k] + k_1^2 (\tau + \Delta t)^2 P_{22}^+[k] + \\ &+ 2k_1 (\tau + \Delta t) P_{12}^+[k]; \\ P_{12}^-[k+1] &= k_1 P_{12}^+[k] + k_1^2 (\tau + \Delta t) P_{22}^+[k] + \\ &+ k_3 P_{13}^+[k] + k_1 k_3 (\tau + \Delta t) P_{23}^+[k]; \\ P_{13}^-[k+1] &= k_2 P_{12}^+[k] + k_1 k_2 (\tau + \Delta t) P_{22}^+[k] + \\ &+ k_1 P_{13}^+[k] + k_1^2 (\tau + \Delta t) P_{23}^+[k]; \\ P_{22}^-[k+1] &= k_1^2 P_{22}^+[k] + k_3^2 P_{33}^+[k] + 2k_1 k_3 P_{23}^+[k]; \\ P_{23}^-[k+1] &= k_1 k_2 P_{22}^+[k] + (k_1^2 + k_2 k_3) P_{23}^+[k] + k_1 k_3 P_{33}^+[k]; \\ P_{33}^-[k+1] &= k_2^2 P_{22}^+[k] + k_1^2 P_{33}^+[k] + 2k_1 k_2 P_{23}^+[k]. \end{aligned}$$

Уравнения для оценок фазовых координат имеют следующий вид:

$$\begin{aligned} \hat{y}_1[k+1] &= y_1^-[k+1] + k_{\phi 1} (z[k+1] - y_1^-[k+1]); \\ \hat{y}_2[k+1] &= y_2^-[k+1] + k_{\phi 2} (z[k+1] - y_1^-[k+1]); \\ \hat{y}_3[k+1] &= y_3^-[k+1] + k_{\phi 3} (z[k+1] - y_1^-[k+1]); \\ k_{\phi 1} &= (P_{11}^-[k+1]) / (P_{11}^-[k+1] + \sigma_v^2[k+1]); \\ k_{\phi 2} &= (P_{12}^-[k+1]) / (P_{11}^-[k+1] + \sigma_v^2[k+1]); \\ k_{\phi 3} &= (P_{13}^-[k+1]) / (P_{11}^-[k+1] + \sigma_v^2[k+1]). \end{aligned}$$

Апостериорные значения ковариационных моментов соответственно будут следующими:

$$\begin{aligned} P_{11}^+[k+1] &= (1 - k_{\phi 1}) P_{11}^-[k+1]; \\ P_{12}^+[k+1] &= (1 - k_{\phi 1}) P_{12}^-[k+1]; \\ P_{13}^+[k+1] &= (1 - k_{\phi 1}) P_{13}^-[k+1]; \\ P_{22}^+[k+1] &= P_{22}^-[k+1] - k_{\phi 2} P_{12}^-[k+1]; \\ P_{23}^+[k+1] &= P_{23}^-[k+1] - k_{\phi 3} P_{12}^-[k+1]; \\ P_{33}^+[k+1] &= P_{33}^-[k+1] - k_{\phi 3} P_{13}^-[k+1]. \end{aligned}$$

Имитационное моделирование работы фильтра на ЭВМ производилось при начальных условиях:

$$\begin{aligned} P_{11}[0] &= 250 \text{ м}^2; P_{22}[0] = 25 \text{ м}^2/\text{с}^2; P_{33}[0] = 10^{-6} \text{ м}^2/\text{с}^4; \\ \sigma_v^2 &= 250 \text{ м}^2; (\Delta t^3 / 3) V = 10^{-6} \text{ м}^2/\text{с}^4. \end{aligned}$$

В результате имитационного моделирования получены дисперсии ошибок оценок высоты и вертикальной скорости. На рис.2 показано изменение дисперсий ошибок оценок $\hat{y}_1, \hat{y}_2, \hat{y}_3$. После 15 минут работы фильтра дисперсии ошибок оценок высоты и вертикальной скорости составили $P_{11}[k] = 20 \text{ м}^2; P_{22}[k] = 0,003 \text{ м}^2/\text{с}^2$.

Заключение

Следует отметить, что реализация предложенных моделей алгоритмов фильтрации коррекции вертикального канала в системе управления БЛА на одноадресной бортовой цифровой вычислительной машине (БЦВМ) потребует 700 ячеек постоянного запоминающего устройства (ПЗУ) и 40 ячеек оперативного запоминающего устройства (ОЗУ).

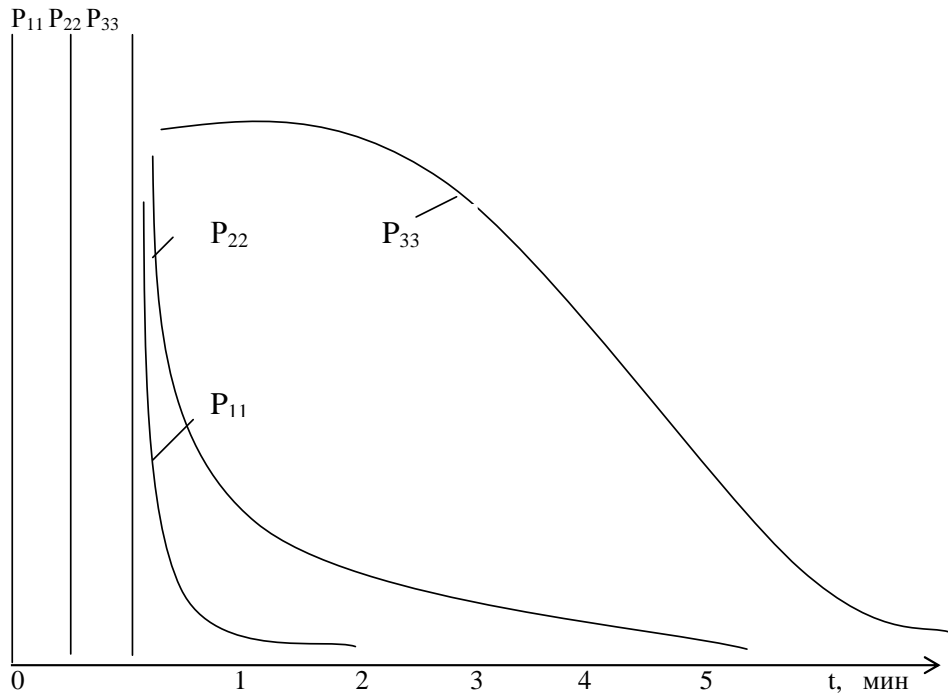


Рис. 2. Изменение дисперсий ошибок оценок высоты и вертикальной скорости

ющего устройства (ОЗУ), предложенный алгоритм достаточно прост и эффективен в структурах навигационной системы. Также надо заметить, что предложенная

модель алгоритма может быть применима и в комбинациях с другими датчиками, например, лазерными, гравитационными и радиолокационными.

Литература:

1. Багратуни Г.В. Курс сферодической геодезии. М., Геодезиздат, 1962г.
2. Броксмейсер Ч.Ф. Системы инерциальной навигации. М., пер. с англ. «Судостроение», 1967г, 279с.

Материал поступил в редакцию 23. 12. 2008г.