

6. Речицкий В.И. Акусто-электронные радиокomпоненты. М.: Советское радио, 1980. – 264 с.

7. Морган Д. Устройства обработки сигналов на поверхностных акустических волнах. М.: радио и связь, 1990. – 416 с.

Улахович Д.А. Основы теории линейных электрических цепей. СПб.: ВВХ-Петербург, 2009. – 816 с.

УДК 629.7.05

ПРИМЕНЕНИЕ УПРАВЛЯЮЩИХ КОМПОНЕНТОВ ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ ТОЧНОСТИ НАВИГАЦИИ БПЛА

Л.Ю. Королев

ФГБОУ ВО НИ «МГУ им. Н. П. Огарёва», г. Саранск

В условиях недоступности глобальных навигационных систем GPS и ГЛОНАСС, прибегают к инерционным навигационным системам (ИНС) для определения местоположения беспилотных летательных аппаратов (БПЛА). При этом, необходимо использовать дополнительные ресурсы для устранения быстрого роста ошибки навигации летательных аппаратов (ЛА), характерного для ИНС.

Систему, состоящую из одного БПЛА, в момент времени t_i можно оценивать по вектору состояний $\bar{x}_i = (x_i \ y_i \ z_i \ v_{xi} \ v_{yi} \ v_{zi})^T$, где x_i, y_i, z_i – декартовы координаты ЛА, v_{xi}, v_{yi}, v_{zi} – проекции скорости на координатные оси. Вектор оцениваемых состояний в дискретном времени можно описать уравнениями авторегрессии:

$$\begin{aligned} x_i &= x_{i-1} + v_{xi}, \ y_i = y_{i-1} + v_{yi}, \ z_i = z_{i-1} + v_{zi}; \\ v_{xi} &= v_{x(i-1)} + \xi_{xi}, \ v_{yi} = v_{y(i-1)} + \xi_{yi}, \ v_{zi} = v_{z(i-1)} + \xi_{zi}; \end{aligned} \quad (1)$$

где ξ_i – независимые гауссовские случайные величины с ненулевыми дисперсиями $\sigma_{\xi_i}^2$, которые позволяют учесть случайное воздействие внешних сил на БПЛА.

Наблюдения за состоянием оцениваемых координат ЛА можно представить так:

$$Z_{xi} = x_i + n_{xi}, \ Z_{yi} = y_i + n_{yi}, \ Z_{zi} = z_i + n_{zi}, \quad (2)$$

где n_{xi}, n_{yi}, n_{zi} – гауссовские погрешности измерений.

В стандартной векторно-матричной форме уравнения (1) и (2) выглядят так [1]:

$$\begin{aligned} \bar{x}_i &= \rho_i \bar{x}_{i-1} + \bar{\xi}_i, \\ \bar{Z}_i &= C_i \bar{x}_i + \bar{n}_i, \ i = 1, 2, 3, \dots, k; \end{aligned} \quad (3)$$

где ρ_i – матрица эволюции системы, C_i – матрица измерений, связывающая вектор состояния и вектор измерений.

Для компенсации погрешности определения координат БПЛА применим управляющие компоненты (УК), воздействующие на изменение проекций скорости:

$$\begin{aligned} v_{xi} &= v_{x(i-1)} + u_{xi} + \xi_{xi}, v_{yi} = v_{y(i-1)} + u_{yi} + \xi_{yi}, v_{zi} = v_{z(i-1)} + u_{zi} + \xi_{zi}; \\ u_{xi} &= v_{sxi} - v_{x(i-1)} + \varepsilon_{xi}, u_{yi} = v_{syi} - v_{y(i-1)} + \varepsilon_{yi}, u_{zi} = v_{szi} - v_{z(i-1)} + \varepsilon_{zi}; \\ v_{sxi} &= x_{si} - x_{s(i-1)}, v_{syi} = y_{si} - y_{s(i-1)}, v_{szi} = z_{si} - z_{s(i-1)}; \\ \varepsilon_{xi} &= x_{si} - x_i, \varepsilon_{yi} = y_{si} - y_i, \varepsilon_{zi} = z_{si} - z_i; \end{aligned} \quad (4)$$

где x_{si}, y_{si}, z_{si} – координаты, соответствующие заданной заранее траектории полета, $\varepsilon_{xi}, \varepsilon_{yi}, \varepsilon_{zi}$ – отклонение от заданной траектории полета.

Таким образом, выразив (4) в стандартной векторно-матричной форме и подставив в (3), уравнения примут вид:

$$\begin{aligned} \bar{x}_i &= \rho_i \bar{x}_{i-1} + G_i \bar{u}_i + \bar{\xi}_i, \\ \bar{z}_i &= C_i \bar{x}_i + \bar{n}_i, i = 1, 2, 3, \dots, k; \end{aligned} \quad (5)$$

где G_i – матрица управления.

Оцениваемый вектор состояний для двух летательных аппаратов имеет вид $\bar{x}_i = (x_{1i} \ y_{1i} \ z_{1i} \ x_{2i} \ y_{2i} \ z_{2i} \ v_{x1i} \ v_{y1i} \ v_{z1i} \ v_{x2i} \ v_{y2i} \ v_{z2i})^T$. Применив взаимное наблюдение за парой БПЛА, которое подробно описано в [2], уравнения (5) будут включать следующие компоненты:

$$\begin{aligned} \bar{u}_i &= (0 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0 \ u_{x1i} \ u_{y1i} \ u_{z1i} \ u_{x2i} \ u_{y2i} \ u_{z2i})^T; \\ \bar{\xi}_i &= (0 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0 \ \xi_{x1i} \ \xi_{y1i} \ \xi_{z1i} \ \xi_{x2i} \ \xi_{y2i} \ \xi_{z2i})^T; \\ \bar{z}_i &= (Z_{x1i} \ Z_{y1i} \ Z_{z1i} \ Z_{\Delta 1i} \ Z_{x2i} \ Z_{y2i} \ Z_{z2i} \ Z_{\Delta 2i})^T; \\ \bar{n}_i &= (n_{x1i} \ n_{y1i} \ n_{z1i} \ n_{\Delta 1i} \ n_{x2i} \ n_{y2i} \ n_{z2i} \ n_{\Delta 2i})^T. \end{aligned}$$

$$\rho_i = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}; C_i = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & -1 & -1 & -1 & -1 & 1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{pmatrix}; G_i = \begin{pmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}$$

По полученным формулам проведено моделирование оценки координат строя БПЛА во время полета с учетом случайной величины с дисперсией $\sigma_{\xi_i}^2 = 0,1$. В результате моделирования получены графики зависимости СКО погрешности оценки координат.

Из графика 2а следует, что рост погрешности при взаимном наблюдении за парой БПЛА замедляется почти в два раза, а при использовании управляющих компонентов (рисунок 2б), дисперсии погрешностей на несколько порядков меньше.

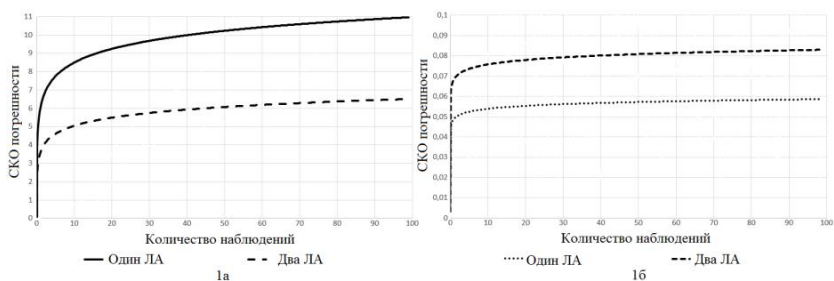


Рисунок 1 – Зависимость погрешности от количества измерений: 1а – без использования управляющих компонентов; 1б – с использованием управляющих компонентов

Список использованных источников

1. Васильев К.К. Оптимальная обработка сигналов в дискретном времени: Учеб. Пособие. – М.: Радиотехника, 2016. – 288 с.: ил.
2. Королев Л. Ю. Сравнительный анализ алгоритмов расчета погрешности одиночного и взаимного определения координат группы беспилотных летательных аппаратов // Современные проблемы проектирования, производства и эксплуатации радиотехнических систем, 2017, № 1-2 (10). – С. 70-73.

УДК 620.179.18+621.383+535.8

МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ КОМБИНИРОВАННОГО ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЯ С ШЕРОХОВАТОЙ ПОВЕРХНОСТЬЮ

А.И. Данилин, У.В. Бояркина, А.А. Грецков, С.А. Данилин
Самарский университет, г. Самара

Контроль параметров крутильных колебаний лопаток турбоагрегата является одной из важных составляющих диагностики их деформационного состояния. Для решения данной задачи широкое распространение получили комбинированные преобразователи, в конструкцию которого входят оптоэлектронные каналы, регистрирующие положение торца лопатки по интенсивности отраженного от его поверхности зондирующего излучения. Форма информационного сигнала, формируемого датчиком, существенно зависит от степени обработки поверхности лопатки, так как может наблюдаться как зеркальное, так и диффузное отражение вызванное шероховатостями поверхности торца реальной лопатки. Так, например, торцы лопаток газотурбинного двигателя НК-12СТ после выполнения проточки лопаточного венца в составе ротора турбомашин имеют штрихообразный контур поверхности [1]. При