

**ТЕЛЕУСОВ В.Н., УСПЕНСКИЙ В.Б.**, канд. техн. наук, доц.

## РЕШЕНИЕ ЗАДАЧИ ИНЕРЦИАЛЬНОЙ НАВИГАЦИИ ДЛЯ ЛЕТАТЕЛЬНОГО АППАРАТА

Под задачей инерциальной навигации (ЗИН) в общем случае понимается определение местоположения и скорости ВЛА как материальной точки в принятой системе координат по информации от инерциальных датчиков.

Вектор состояния ВЛА включает компоненты радиус-вектора  $\bar{R} = \text{col}(\xi_0, \eta_0, \zeta_0)$  и вектора абсолютной скорости  $\bar{V} = \text{col}(V_{\xi_0}, V_{\eta_0}, V_{\zeta_0})$ ;

Для инициализации алгоритма вводятся начальные значения географической широты  $\varphi_0$ , долготы  $\lambda_0$ , высоты  $H_0$  объекта; северной  $V_{N_0}$ , вертикальной  $V_{H_0}$  и восточной  $V_{E_0}$  составляющих относительной скорости ВЛА, а также углов курса  $\psi_0$ , тангажа  $\theta_0$  и крена  $\gamma_0$  относительно местной географической СК в точке начальной выставки.

в алгоритме используются следующие декартовы СК:

- инерциальная геоцентрическая СК  $\{\Gamma_0\}$  с осями  $X_{\Gamma_0}, Y_{\Gamma_0}, Z_{\Gamma_0}$ ;

- инерциальная СК  $\{X_0\}$ . Ориентация СК  $\{X_0\}$  относительно СК  $\{\Gamma_0\}$  задается кватернионом  $N_0 = M_1 \circ M_2$ , в котором

$M_1 = \cos \frac{\lambda_0}{2} + \sin \frac{\lambda_0}{2} \cdot (1,0,0)$  и  $M_2 = \cos \frac{\varphi_0}{2} - \sin \frac{\varphi_0}{2} \cdot (0,0,1)$ . Для вычисления

потребительских навигационных параметров используется также кватернион перехода от СК  $\{\Gamma_0\}$  к местной географической СК

$N_n = (\cos \frac{\lambda}{2} + \sin \frac{\lambda}{2} \cdot (1,0,0)) \circ (\cos \frac{\varphi}{2} - \sin \frac{\varphi}{2} \cdot (0,0,1))$ , в котором  $\lambda, \varphi$  - текущие значения соответственно абсолютной долготы и широты ВЛА;

- связанная с ВЛА СК  $\{X_c\}$  -  $X_c, Y_c, Z_c$ . Начальная ориентация СК  $\{X_c\}$  относительно  $\{X_0\}$  определяется начальными значениями углов курса  $\psi$ , тангажа  $\theta$  и крена  $\gamma$  и отвечает кватерниону

$$\Lambda_0 = (\cos \frac{\psi_0}{2} - \sin \frac{\psi_0}{2} (0,1,0)) \circ (\cos \frac{\theta_0}{2} + \sin \frac{\theta_0}{2} (0,0,1)) \circ (\cos \frac{\gamma_0}{2} + \sin \frac{\gamma_0}{2} (1,0,0))$$

В циклической части алгоритма осуществляется съем данных с ДУСов и

акселерометров и осуществляется интегрирование навигационных и кинематических уравнений.

Навигационные уравнения в инерциальной СК  $\{\Gamma_0\}$  имеют вид

$$\dot{\bar{\mathbf{R}}} = \bar{\mathbf{V}}, \quad (1)$$

$$\dot{\bar{\mathbf{V}}} = \bar{\mathbf{a}} + \bar{\mathbf{g}}(\bar{\mathbf{R}}). \quad (2)$$

Здесь  $\bar{\mathbf{V}}$  - абсолютная скорость ВЛА,  $\bar{\mathbf{g}}(\bar{\mathbf{R}})$  - гравитационное ускорение,  $\bar{\mathbf{a}}$  - кажущееся ускорение ВЛА. Все векторные величины задаются в проекциях на оси инерциальной СК.

Известно, что движение недеформируемого материального тела можно представить как движение центра масс и вращение вокруг центра масс. При решении ЗИН, учитывая, что показания акселерометров формируются относительно связанных с ВЛА осей, необходимо «отслеживать» ориентацию последних относительно опорной СК. С этой целью в БИНС совместно с навигационными уравнениями интегрируются кинематические уравнения вращения твердого тела в параметрах Родрига-Гамильтона.

$$\dot{\Lambda} = \frac{1}{2} \Lambda \circ \bar{\omega}_{\{E\}} \quad (3)$$

Здесь  $\Lambda(t)$  - набор кинематических параметров, определяющих ориентацию ВЛА относительно опорной СК,  $\bar{\omega}_{\{E\}}$  - вектор угловой скорости вращения ВЛА в проекциях на связанный с ним базис  $\{E\}$ . В пользу выбора параметров Родрига-Гамильтона говорит наличие специальных алгоритмов интегрирования кинематических уравнений с учетом «интегрального» характера информации, получаемой с ДУСов в виде

$$\Delta \bar{\theta}_{\{E\}}(t_n) = \int_{t_{n-1}}^{t_n} \bar{\omega}_{\{E\}}(\tau) d\tau \quad (4)$$

Выходными переменными алгоритма являются текущие координаты ВЛА  $(\varphi, \lambda, H)$ , относительная скорость  $(v_N, v_H, v_E)$  и углы  $(\psi, \theta, \gamma)$ .

