

ВИРІШЕННЯ ПРОБЛЕМИ КОМП'ЮТЕРНОЇ ОБРОБКИ ТА ВІЗУАЛІЗАЦІЇ ІНФОРМАЦІЇ ПРО РУХ БЕЗПІЛОТНОГО ЛІТАЛЬНОГО АПАРАТУ У РЕАЛЬНОМУ МАСШТАБІ ЧАСУ

Кописов О. Е., Алякін О. Ю., Бондаренко О. В., Хасанов О. І., Шаталова М. О.

Національний аерокосмічний університет імені М. Є. Жуковського "ХАІ"

В статті розглядається вирішення проблеми обробки та візуалізації інформації про рух безпілотного літального апарату (БПЛА) у реальному масштабі часу за допомогою розробленого програмного продукту.

Постановка проблеми. Вже минуло понад сотні років від дня першого польоту аероплана братів Райт. Як для еволюції технічних засобів – термін досить великий, але метаморфози літальних апаратів не можуть не вражати. Для успішного вирішення завдань військової розвідки створені БПЛА. Обладнання на борту сучасного БПЛА містить радіостанції, контрольно-вимірвальну апаратуру, бортові радари та комп'ютери, "чорні ящики" [1]. Тому виникає актуальне завдання обробки та візуалізації інформації, що отримується з борту літального апарата [2].

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Одним із шляхів підвищення ефективності і точності використання навігаційних систем є розробка ефективних алгоритмів системи орієнтації. Незважаючи на значний обсяг літератури з розробки алгоритмів систем орієнтації, на наш час немає джерел, які забезпечили б достатньо дохідливе ознайомлення з тематикою, задачами і методами розв'язування цієї проблеми [3].

Мета статті. Пропонується вирішення проблеми обробки та візуалізації інформації про рух безпілотного літального апарата у реальному масштабі часу за допомогою спеціально розробленого програмного продукту. Також пропонуються алгоритми функціонування безкарданної інерціальної навігаційної системи, яка розташована на борту БПЛА.

Основні матеріали дослідження. Інерціальні системи – один з видів систем навігації. Відомі різні види і типи інерціальних навігаційних систем, але відповідно до критерію "тип інерціального вимірвального блоку" їх можна розділити на два класи: "карданні" системи, що містять у своєму складі гіростабілізовану платформу (ГСП), яка несе інерціальні вимірвачі, і безкарданні (БНС) – з інерціальними вимірвачами, розташованими на корпусі рухомого об'єкта.

Основними перевагами БНС в порівнянні з платформеними системами є менші розміри і маси елементів і системи в цілому, більша надійність системи, менші споживання електроенергії та вартість, простої експлуатації та ремонту.

БНС на об'єкті, що розглядається, містить вимірвачі кутових швидкостей та прискорень відносно

кожної з осей зв'язаної з літальним апаратом системи координат.

Кути, що характеризують положення рухомого об'єкта у просторі, визначаються в результаті розв'язання рівняння Пуасона наступного вигляду:

$$\frac{dM_{CI}(\gamma, \psi, \vartheta)}{dt} = \Omega \cdot M_{CI}(\gamma, \psi, \vartheta); \quad (1)$$

де γ, ψ, ϑ – кути крену, курсу та тангажу відповідно;

$M_{CI}(\gamma, \psi, \vartheta)$ – матриця напрямних косинусів як функція кутів орієнтації γ, ψ, ϑ .

$$\Omega = \begin{bmatrix} 0 & \omega_Z & -\omega_Y \\ -\omega_Z & 0 & \omega_X \\ \omega_Y & -\omega_X & 0 \end{bmatrix}, \quad (2)$$

де $\omega_X, \omega_Y, \omega_Z$ – проекції вектора кутової швидкості на відповідні вісі зв'язаної з об'єктом ортогональної системи координат.

Введемо наступні позначення:

$$M_{11} = \cos \vartheta \cdot \cos \psi;$$

$$M_{12} = \sin \vartheta \cdot \cos \psi;$$

$$M_{13} = -\sin \vartheta;$$

$$M_{21} = -\sin \vartheta \cdot \cos \gamma + \cos \vartheta \cdot \sin \gamma \cdot \sin \psi;$$

$$M_{22} = \cos \vartheta \cdot \cos \gamma + \sin \vartheta \cdot \sin \psi \cdot \sin \gamma;$$

$$M_{23} = \cos \psi \cdot \sin \gamma;$$

$$M_{31} = \sin \vartheta \cdot \sin \gamma + \cos \vartheta \cdot \sin \psi \cdot \cos \gamma;$$

$$M_{32} = -\sin \gamma \cdot \cos \vartheta + \sin \vartheta \cdot \sin \psi \cdot \cos \gamma;$$

$$M_{33} = \cos \psi \cdot \cos \gamma.$$

Отримаємо праву частину рівняння (1):

$$\Omega \cdot M_{CI}(\gamma, \psi, \vartheta) = \begin{bmatrix} \omega_Z M_{21} - \omega_Y M_{31} & \omega_X M_{22} - \omega_Y M_{32} & \omega_X M_{23} - \omega_Y M_{33} \\ -\omega_Z M_{11} + \omega_X M_{31} & -\omega_Z M_{12} + \omega_X M_{32} & -\omega_Z M_{13} + \omega_X M_{33} \\ \omega_Y M_{11} - \omega_X M_{21} & \omega_Y M_{12} - \omega_X M_{22} & \omega_Y M_{13} - \omega_X M_{23} \end{bmatrix}. \quad (3)$$

Ліва частина рівняння (1) має наступний вигляд:

$$\frac{dM_{CI}(\gamma, \psi, \vartheta)}{dt} = \begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} & a_{13} \\ a_{21} & a_{22} & a_{23} \\ a_{31} & a_{32} & a_{33} \end{bmatrix}, \quad (4)$$

$$a_{11} = -\dot{\vartheta} \cdot \sin \vartheta \cdot \cos \psi - \dot{\psi} \cdot \sin \psi \cdot \cos \vartheta;$$

$$a_{12} = \dot{\vartheta} \cdot \cos \vartheta \cdot \cos \psi - \dot{\psi} \cdot \sin \psi \cdot \sin \vartheta;$$

$$a_{13} = -\dot{\vartheta} \cdot \cos \vartheta;$$

$$a_{21} = \dot{\vartheta} \cdot (-\cos \vartheta \cdot \cos \gamma - \sin \vartheta \cdot \sin \psi \cdot \sin \gamma) + \dot{\psi} \cdot \cos \psi \cdot \sin \gamma \cdot \cos \vartheta + \dot{\gamma} \cdot (\sin \vartheta \cdot \sin \gamma + \cos \vartheta \cdot \sin \psi \cdot \cos \gamma);$$

$$a_{22} = \dot{\vartheta} \cdot (-\sin \vartheta \cdot \cos \gamma + \cos \vartheta \cdot \sin \psi \cdot \sin \gamma) + \dot{\psi} \cdot \cos \psi \cdot \sin \gamma \cdot \sin \vartheta + \dot{\gamma} \cdot (-\sin \gamma \cdot \cos \vartheta + \sin \vartheta \cdot \sin \psi \cdot \cos \gamma);$$

$$a_{23} = -\dot{\psi} \cdot \sin \psi \cdot \sin \gamma + \dot{\gamma} \cdot \cos \psi \cdot \cos \gamma;$$

$$a_{31} = \dot{\vartheta} \cdot (\sin \gamma \cdot \cos \vartheta - \sin \vartheta \cdot \sin \psi \cdot \cos \gamma) + \dot{\psi} \cdot \cos \vartheta \cdot \cos \psi \cdot \cos \gamma + \dot{\gamma} \cdot (\sin \vartheta \cdot \cos \gamma - \cos \vartheta \cdot \sin \psi \cdot \sin \gamma);$$

$$a_{32} = \dot{\vartheta} \cdot (\sin \vartheta \cdot \sin \gamma - \cos \vartheta \cdot \sin \psi \cdot \cos \gamma) + \dot{\psi} \cdot \sin \vartheta \cdot \cos \psi \cdot \cos \gamma + \dot{\gamma} \cdot (-\cos \vartheta \cdot \cos \gamma - \sin \vartheta \cdot \sin \psi \cdot \sin \gamma);$$

$$a_{33} = -\dot{\psi} \cdot \sin \psi \cdot \cos \gamma - \dot{\gamma} \cdot \sin \gamma \cdot \cos \psi.$$

Прирівнюючи відповідні компоненти матриць, отримаємо систему диференціальних рівнянь наступного вигляду:

$$\bar{g} = \begin{bmatrix} g_X \\ g_Y \\ g_Z \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{3f}{4\rho_c^4} \cdot (A+C-2B) \cdot \sin(2\varphi_c) - \frac{3f}{4\rho_c^4} \cdot (C-A) \cdot \sin(2\varphi_c) \cdot \cos(2\lambda_c) \\ -\frac{M \cdot f}{\rho_c^2} - \frac{3f}{4\rho_c^4} \cdot (A+C-2B) \cdot (3 \sin^2 \varphi_c - 1) - \frac{9f}{4\rho_c^4} \cdot (C-A) \cdot \cos^2 \varphi_c \cdot \cos(2\lambda_c) \\ -\frac{3f}{2\rho_c^4} \cdot (C-A) \cdot \cos^2(2\varphi_c) \cdot \sin(2\lambda_c) \end{bmatrix}, \quad (8)$$

де A, B, C – моменти інерції Землі відносно осей фігури планети, на якій розташовані півосі a, b відповідно;

f – гравітаційна постійна Землі;

M – маса Землі.

$$A = (8,0101 \pm 0,0002) \cdot 10^{37};$$

$$B = (8,0103 \pm 0,0002) \cdot 10^{37};$$

$$\dot{\vartheta} = \frac{-\omega_Z \cdot \cos \psi \cdot \sin \gamma + \omega_Y \cdot \cos \psi \cdot \cos \gamma}{\cos \vartheta};$$

$$\dot{\psi} = \frac{-\omega_Z \cdot \sin \vartheta \cdot \sin \gamma + \omega_Y \cdot \sin \vartheta \cdot \cos \gamma}{\sin \psi}; \quad (5)$$

$$\dot{\gamma} = \frac{\omega_Z \cdot \sin \vartheta \cdot \cos \gamma + \omega_Y \cdot \sin \vartheta \cdot \sin \gamma}{\cos \psi} + \omega_X.$$

Базове рівняння інерціальної навігації:

$$\frac{d}{dt} \bar{V} = \bar{W} + \bar{g}; \quad (6)$$

$$\frac{d}{dt} \bar{V} = M_{CI}^T \bar{W} + \bar{g}, \quad (7)$$

де $\frac{d}{dt} \bar{V}$ – вектор абсолютного прискорення рухомого об'єкта;

\bar{W} – вектор уявного прискорення;

\bar{g} – вектор гравітаційного прискорення;

M_{CI}^T – матриця переходу від зв'язаної з об'єктом системи координат до навігаційної системи координат.

Рівняння (6) справедливе, коли опорний і навігаційний трієдри збігаються і компоненти вектора прискорення є проекції вектора прискорення на осі опорного трієдра. Навігаційна система координат при цьому повинна бути нерухома, супроводжуючий трієдр має збігатися з навігаційною системою координат.

Компоненти вектора гравітаційного прискорення визначаються з використанням моделей гравітаційного поля Землі і моделі фігури планети:

$$C = (8,0365 \pm 0,0002) \cdot 10^{37};$$

$$M = 5,9742 \cdot 10^{24} \text{ кг};$$

$$f = 6,6742 \cdot 10^{-11} \text{ м}^3 \text{ кг}^{-1} \text{ с}^{-2}.$$

Модель фігури планети – тривісний еліпсоїд Кравсовського, який має наступні характеристики: $a=6378351,3$ м, $b=6378137,7$ м, $c=6356863$ м.

Враховуючи все вищезгадане, отримаємо систему

рівнянь, за допомогою якої можливе розв'язання задачі визначення положення рухомого об'єкту.

$$\begin{aligned} H_C \cdot \cos \varphi_C \cdot \sin \lambda_C &= X_C \cdot \sin \varphi_C \cdot \sin \lambda_C - Y_C \cdot \cos \varphi_C \cdot \sin \lambda_C + Z_C \cdot \cos \lambda_C; \\ H_C \cdot \cos \varphi_C \cdot \cos \lambda_C &= X_C \cdot \sin \varphi_C \cdot \cos \lambda_C - Y_C \cdot \cos \varphi_C \cdot \cos \lambda_C + Z_C \cdot \sin \lambda_C; \\ H_C \cdot \sin \varphi_C &= X_C \cdot \cos \varphi_C + Y_C \cdot \sin \varphi_C. \end{aligned} \quad (9)$$

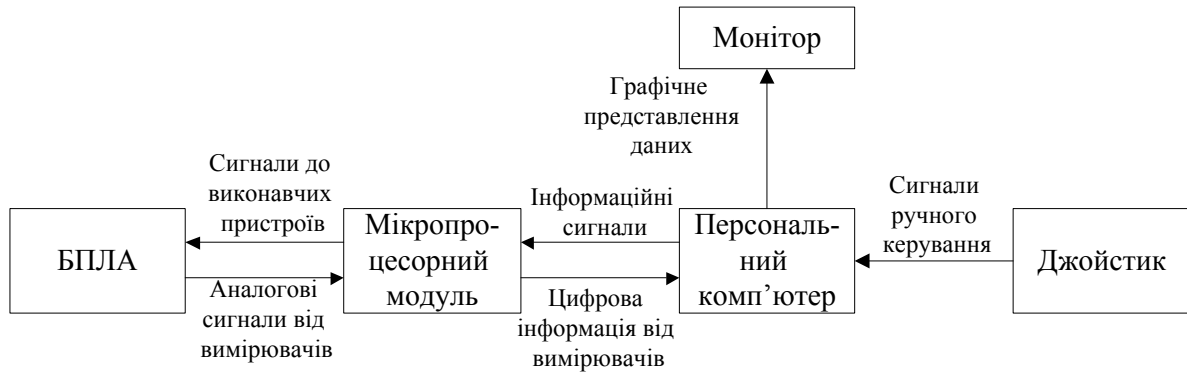


Рисунок 1 – Функціональна схема системи збирання та обробки інформації про рух БПЛА

Функціональна схема системи збирання та обробки інформації про рух БПЛА наведена на рис. 1. Також розроблений програмний комплекс, який дозволяє виконувати наступні дії:

- здійснення прийому сигналів про зміну положення рукоятки та/або натискання кнопок джойстика;
- отримання даних від датчиків і управління кутівим положенням БПЛА;
- обробка і збереження отриманих даних у цифровому та графічному вигляді.

Висновки. Розроблений лабораторний комплекс являє собою складну систему, яка дозволяє вирішити проблему отримання і обробки інформації про параметри руху безпілотного літального апарата в реальному масштабі часу. Розроблено програмне забезпечення комплексу, яке дозволяє відображати приладову панель літака з відповідними показниками, а також 3-D імітацію польоту БПЛА. Також здійснюється запис отриманих даних у файл для подальшої обробки.

Список використаних джерел

1. Биньковская А. Б. Измерение координат подвижного объекта с помощью инерциальной навигационной системы // XIII Міжнар. конф. з автоматичного управління "Автоматика – 2006": Тези доповідей. – Вінниця: УНІВЕРСУМ, 2006. – С. 265.
2. Кописов О. Е. Визначення параметрів руху літального апарата за допомогою інерціального навігаційного блоку / О. Е. Кописов, А. М. Субота // матеріали XIII Міжнар. молодіж. наук. - практ. конф. "Людина і космос", Дніпропетровськ, 13-15 квіт. 2011 р. – С. 157.
3. Лазарев Ю. Ф. Розроблення і моделювання алгоритмів безплатформової системи орієнтації / Ю. Ф. Лазарев, Я. Г. Бобровицька. – К.: НТУУ "КПІ", 2011. – 135 с.

Аннотация

РЕШЕНИЕ ПРОБЛЕМЫ КОМПЬЮТЕРНОЙ ОБРАБОТКИ И ВИЗУАЛИЗАЦИИ ИНФОРМАЦИИ О ДВИЖЕНИИ БЕСПИЛОТНОГО ЛЕТАТЕЛЬНОГО АППАРАТА В РЕАЛЬНОМ МАСШТАБЕ ВРЕМЕНИ

Копысов О. Э., Алякин А. Ю., Бондаренко О. В., Хасанов О. И., Шаталова М. О.

В статье рассматривается решение проблемы обработки и визуализации информации о движении беспилотного летательного аппарата (БПЛА) в реальном масштабе времени при помощи специально разработанного программного продукта. Также рассмотрены алгоритмы функционирования безкарданной инерциальной навигационной системы, которая расположена на борту БПЛА.

Abstract

SOLUTION OF THE INFORMATION COMPUTER PROCESSING AND VISUALIZATION PROBLEM FOR UNMANNED AERIAL VEHICLES MOTION IN REAL TIME

Kopysov O. E., Alyakin A. Y., Bondarenko O. V., Khasanov O. I., Shatalova M. O.

The article considers the problem of processing and visualization of the unmanned aerial vehicle (UAV) motion in real time using specially developed software. Also considered algorithms of the strapdown inertial navigation system functioning, which is located on the UAV board.