

*М.К. Філяшкін, кандидат технічних наук,
(Національний авіаційний університет, Україна)*

Підвищення надійності навігаційного забезпечення польоту малого БПЛА

Запропоновано субоптимальні алгоритми інтеграції інформаційних систем підвищеної надійності. При побудові інтегрованих навігаційних комплексів використовуються можливості отримання додаткової альтернативної інформації про параметри руху об'єкта від функціональних блоків, що входять до комплексу, обробляючи її як надмірну в алгоритмах комплексування.

Вступ

Існуючий в даний час підхід до інформаційного забезпечення польоту малих і мініатюрних БПЛА базується на використанні інерційно-супутникових систем навігації як основного джерела інформації про пілотажно-навігаційні параметри польоту. Причому елементна база таких систем базується на МЕМС технологіях та пристроях, що поєднують у себе мікроелектронні та мікромеханічні компоненти, а алгоритмічне забезпечення процедур комплексування інерційних та супутникових систем навігації формується на основі процедур калманівської фільтрації. Основні схеми комплексування таких систем це слабі і жорстко зв'язані схеми [2].

Основною проблемою такого підходу до інформаційного забезпечення польоту БПЛА є проблема надійності навігаційного забезпечення. Низька надійність інформаційного забезпечення може призвести до втрати самого БПЛА, зокрема, при втраті інформації від супутникової системи навігації, наприклад, через складні радіотехнічні умови прийому сигналів від супутникового сузір'я, оскільки груба мікромеханічна ІНС не в змозі забезпечити БПЛА пілотажно-навігаційною інформацією необхідної точності навіть на незначних проміжках часу.

Крім того, на думку ряду вчених, існують проблеми, що виникають на етапах бортової реалізації калманівської фільтрації. Головна їх це феномен дивергенції (розбіжності). Провідні фахівці з розробки навігаційного забезпечення польоту БПЛА такого класу намагаються вирішити це завдання різними способами, використовуючи власні авторські напрацювання.

Зокрема, щоб запобігти проблемам з дивергенцією, розроблено цілу серію модифікацій фільтру Калмана (використання адаптивних робастних алгоритмів фільтрації, алгоритмів Язвінського, тощо). Для скорочення обсягу обчислення використовується редукований фільтр Калмана [1]. Пропонуються й інші підходи до комплексування надмірної навігаційної інформації.

Таким чином, дослідження, спрямовані на підвищення надійності навігаційного забезпечення польоту БПЛА, є дуже актуальними.

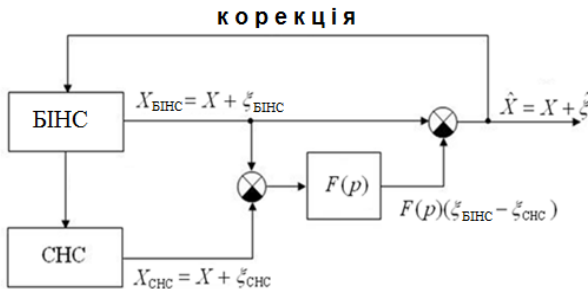
Постановка задачі

У статті пропонується при побудові інтегрованого навігаційного комплексу основну увагу приділяти саме підвищенню надійності навігаційного

забезпечення польоту БПЛА в автономному режимі роботи, як за рахунок максимального використання можливостей існуючого інформаційного забезпечення, так і за рахунок нових підходів до проблем комплексування пілотажно-навігаційної інформації.

Розв'язання задачі

Комплексування надлишкової навігаційної інформації на борту БПЛА запропоновано здійснювати ні на основі редукованого фільтра Калмана, а використовуючи схему компенсації (рис. 1), яка добре себе зарекомендувала, наприклад в інерційно-доплерівських системах навігації [1].



Але замість класичного аперіодичного фільтра $F(p)$ схеми компенсації, тут пропонується використовувати розроблений автором фільтр третього порядку змінної структури з форсуванням [3]:

$$F(p) = \begin{cases} \frac{1}{T_{\phi 1} p + 1} & \text{при } t_{\text{роб}} \leq 3T_{\phi 1}; \\ \frac{3T_{\phi 2} p + 1}{(T_{\phi 2} p + 1)(T_{\phi 2} p + 1)(T_{\phi 2} p + 1)} & \text{при } 3T_{\phi 1} < t_{\text{роб}} \leq 3T_{\phi 2}; \\ \frac{3T_{\phi} p + 1}{(T_{\phi} p + 1)(T_{\phi} p + 1)(T_{\phi} p + 1)} & \text{при } 3T_{\phi 2} < t_{\text{роб}}, \end{cases}$$

тут $t_{\text{роб}}$ - час роботи схеми компенсації

Як показали дослідження (рис. 2), така схема комплексування дає результати не гірше за калманівську фільтрацію, без будь-яких порушень стійкості алгоритмів оцінювання.

Для підвищення надійності навігаційного забезпечення польоту БПЛА запропоновано доповнити навігаційний комплекс автономною аеромагнітною системою навігації. Для побудови такої системи використовується присутній у складі інерційної системи навігації коректор азимутального каналу - тривісний магнітометр спільно з датчиками повітряного тиску, які формують алгоритми барометричного вимірювача висоти польоту (компонент, що забезпечує стійкість вертикального каналу інерційної системи).

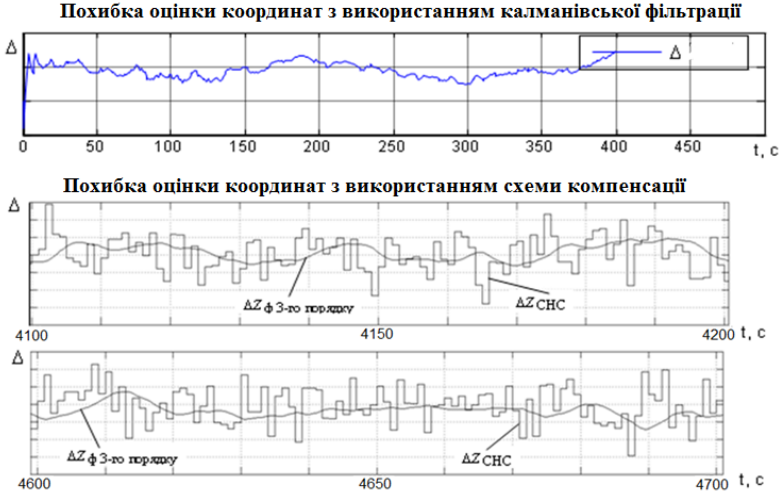


Рис. 2

Алгоритми роботи додаткової аеромагнітометричної системи навігації досить прості

$$\varphi = \varphi_0 + \int \frac{V_{\text{спр}} \cos \psi + U \cos \delta}{R_3} dt; \quad \lambda = \lambda_0 + \int \frac{V_{\text{спр}} \sin \psi + U \sin \delta}{R_3} dt;$$

де $\varphi, \varphi_0, \lambda, \lambda_0$ – поточні та вихідні координати місцезнаходження БПЛА;
 $(V_{\text{спр}} \cos \psi + U \cos \delta)$, $(V_{\text{спр}} \sin \psi + U \sin \delta)$ – складові шляхової швидкості;
 R_3 – радіус Землі; ψ – справжній магнітний курс.

Барометрична висота H_6 та справжня повітряна швидкість $V_{\text{спр}}$ обчислюються за інформацією про статичний p і динамічний $p_{\text{дин}}$ тиск:

$$H_6 = \frac{T_0}{\tau_B} \left[1 - \left(\frac{p}{p_0} \right)^{\frac{\tau_B R_{\text{пит}}}{g_0}} \right] \quad \text{для } H \leq 11000 \text{ м;}$$

$$V_{\text{спр}} = \sqrt{2 R_{\text{пит}} T \left(\frac{k}{k-1} \right) \left[\left(\frac{p_{\text{дин}}}{p} \right)^{\frac{k-1}{k}} - 1 \right]},$$

де τ_B – температурний градієнт; $R_{\text{пит}}$ – питома стала; k – показник адиабати.

Структурна схема інтегрованого навігаційного комплексу наведена на рис. 3.

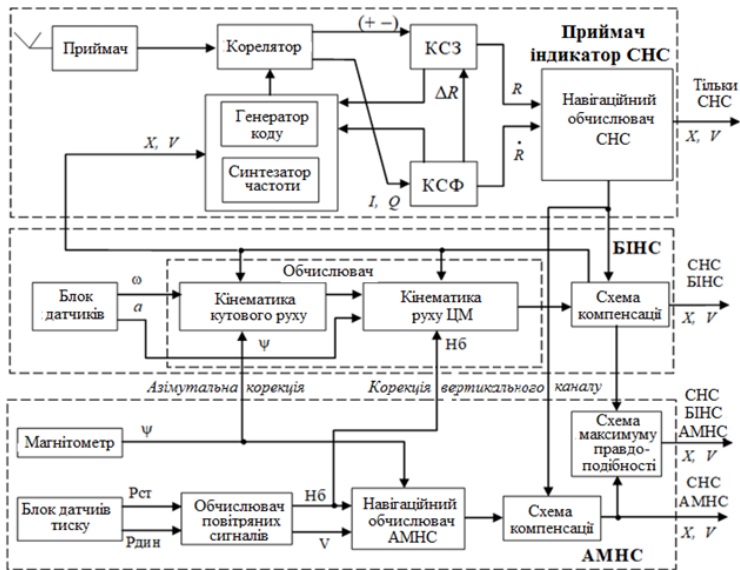


Рис. 3

В основному режимі роботи інтегрованого навігаційного комплексу реалізуються дві аналогічні схеми як при комплексуванні аеро-магнітометричної та супутникової систем навігації, так і при комплексуванні інерційної та супутникової систем навігації. Отримані оцінки інерційно-супутникової та аеромагнітометрично-супутникової систем навігації додатково комплексуються на основі методу максимуму правдоподібності.

Оскільки на виході схем компенсації спостерігаються поточні еволюції похибок в одному випадку інерційної, а в другому аеромагнітометричної систем навігації, виникає можливість апроксимації еволюцій цих помилок, з подальшою їх екстраполяцією. Отримані прогнозовані еволюції похибок використовуються на етапах автономного режиму роботи навігаційного комплексу, підвищуючи надійність навігаційного забезпечення польоту БПЛА (рис.4).

Природно, що ступінь довіри до інформації інерційної системи навігації в автономному режимі поступово знижується і зрештою комплекс переходить на суто аеромагнітометричний метод числення шляху. При цьому точність визначення параметрів навігаційних польоту також поступово знижується, але при такому підході завжди існує можливість продовження польоту з поверненням БПЛА до місця посадки.

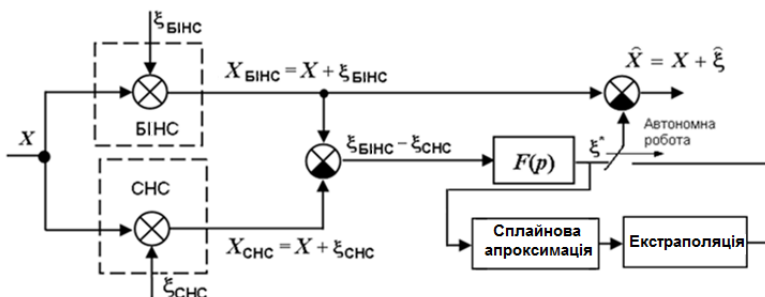


Рис. 4

Для підвищення надійності визначення параметрів кутової орієнтації спільно з інформацією від інерційної системи використовується альтернативна інформація від функціональних блоків, що входять в комплекс. Для цих цілей використовуються не гіроскопічні способи отримання інформації: магнітометричні, пірометричні, аеродинамічні. Інформація, що надходить із різних джерел, обробляється як надлишкова і використовується для коригування інерційної вертикалі [4].

Висновки. Пропонований підхід до побудови навігаційних комплексів малих БПЛА передбачає можливості отримання додаткової інформації про параметри руху об'єкта від функціональних блоків, що входять до комплексу, використовуючи її як надмірну в алгоритмах комплексування, що базуються на методах максимуму правдоподібності і схемах компенсації зі змінною структурою, що володіють надійною стійкістю алгоритмів оцінювання. Такий підхід істотно підвищує надійність інформаційного забезпечення польоту БПЛА в автономному режимі роботи навігаційного комплексу.

Список літератури

1. Ф.М. Захарін, В.М. Синеглазов, М.К. Філяшкін. Алгоритмічне забезпечення інерціально-супутникових систем навігації. – К.: НАУ, 2011. – 320 с.
2. Філяшкін М.К. Інерціально-супутникові навігаційні системи: навч. посібник / М.К. Філяшкін В.О. Рогожин, А.В. Скрипець, Т.І. Лукінова – К.: НАУ, 2009. – 306 с.
3. М.К. Філяшкін. Алгоритми субоптимальної фільтрації в схемах комплексування інерціально-супутникових систем за методом компенсації / М.К. Філяшкін, Т.І. Мар'ясова // Електроніка та системи управління. – 2011 – №28 (2011). – С. 100-106.
4. М.К. Filyashkin Combined sensor of angular parameters for small unmanned aerial vehicles// IEEE 3rd International Conference «Methods and Systems of Navigation and Motion Control», Proceedings. Kyiv, Ukraine (October 14–17, 2014). – К.: НАУ. – 2014. – pp. 53–58.