

УДК 656.7.052.002.5:681.32(045)

Ш. І. Аскеров

**КОМПЛЕКСНЕ ОБРОБЛЕННЯ ДАНИХ У НАВІГАЦІЙНИХ СИСТЕМАХ
БЕСПЛОТНИХ ЛІТАЛЬНИХ АПАРАТІВ**

Інститут аерокосмічних систем управління НАУ, e-mail: svm@nau.edu.ua

Розглянуто постановку задачі комплексного оброблення даних у навігаційних системах безпілотних літальних апаратів на основі інформації, яка надходить з безплатформної інерціальної, супутникової, аерометричної та пірометричної систем.

Ключові слова: комплексування, інерціальна навігаційна система, супутникова навігаційна система, пірометрична навігаційна система, аеромагнітометрична навігаційна система.

Вступ. Підхід до інформаційного забезпечення польоту малих і мініатюрних безпілотних літальних апаратів (БПЛА) ґрунтується на використанні інерціально-супутникових систем навігації (ІССН) як основного джерела інформації про пілотажно-навігаційні параметри польоту. Елементною базою таких систем стають технології мікроелектромеханічних систем і пристрої, що об'єднують у себе мікроелектронні та мікромеханічні компоненти, а алгоритмічне забезпечення процедур комплексування ІССН формується на основі процедур калманівської фільтрації. Основними схемами комплексування таких систем є слабозв'язані та жорсткоз'єднані схеми.

Головними проблемами такого підходу до навігаційного забезпечення є проблема його надійності. Низька надійність інформаційного забезпечення може призвести до втрати самого БПЛА в разі втрати інформації від супутникової системи навігації, наприклад через складні радіотехнічні умови приймання сигналів від супутникового сузір'я, оскільки груба інерціальна навігаційна система не може забезпечити БПЛА пілотажно-навігаційною інформацією необхідної точності навіть на незначному інтервалі часу.

Головна увага приділяється підвищенню надійності навігаційного забезпечення в автономному інерціальному режимі роботи пропонованого інтегрованого навігаційного комплексу (ІНК) за рахунок як максимального використання можливостей існуючого інформаційного забезпечення, так і новітніх підходів до проблем комплексування пілотажно-навігаційної інформації.

Зокрема запропоновано використовувати наявний у складі інерціальної навігаційної системи коректор азимутального каналу – тривісний магнітометр сумісно з датчиками повітряного тиску, які застосовують для формування алгоритмів барометричного вимірника висоти польоту (компонент, що забезпечує стійкість вертикального каналу інерціальної системи) для побудови додаткової автономної аеромагнітометричної системи навігації.

Для визначення параметрів кутової орієнтації запропоновано використання альтернативних не гіроскопічних засобів отримання інформації про кути крену й тангажа. В ІНК використовують такі не гіроскопічні засоби отримання інформації про кути крену та тангажа:

- магнітометричний;
- пірометричний;
- аеродинамічний.

Постановка завдання. Математична модель результату вимірювання Y_i i -ю системою дійсного значення X_0 навігаційного параметра в момент часу t має вигляд

$$Y_i(t) = X_0(t) + \xi_i(t), \quad i = \overline{1, m}, \quad (1)$$

де m – загальна кількість систем, що створюють ІНК; $\xi(t)$ – випадкова абсолютна похибка прямих вимірювань.

Істинне значення вимірюваного параметра в рівнянні (1) розглядається як величина детермінована і стала, а похибка – як гаусівський стаціонарний сигнал з відомими числовими характеристиками.

Математичне сподівання похибки

$$M[\xi_i(t)] = 0,$$

дисперсія

$$D[\xi_i(t)] = D_i = \sigma_i^2, \quad i = \overline{1, m},$$

де σ_i – середня квадратична похибка вимірювань i -ю системою комплексу.

Ставиться задача розробити числово-аналітичний метод оптимального синтезу ІНК за критерієм максимальної правдоподібності.

Оцінити Z_m оптимального за критерієм максимальної правдоподібності комплексу

$$Z_m = f(Y_1, Y_m),$$

аргументами чого є результати вимірювань (1).

Огляд наявних розв'язків. Основна мета комплексування систем орієнтації і навігації полягає в підвищенні точності визначення навігаційних і кутових параметрів орієнтації БПЛА. Способи корекції можна поділити відповідно до такої класифікації:

- за рівнем інтеграції (роздільні, слабозв'язані, жорсткоз'єднані і глибоко інтегровані);
- за видом зворотних зв'язків (замкнені, розімкнені).

Подільний алгоритм є найбільш простим варіантом спільного використання інерціальної системи та зовнішніх вимірювальних пристроїв. Корекція виконується періодичним перезапуском алгоритму платформних інерціальних навігаційних систем з новими початковими умовами за координатами і швидкістю, які надходять від зовнішніх вимірювальних пристроїв. Така архітектура комплексування на етапі вирішення навігаційного завдання забезпечує незалежність систем (крім перезапуску або корекції) та інформаційну надмірність інтегрованої навігаційної системи. Для створення такої архітектури потрібні мінімальні зміни в апаратних засобах і програмному забезпеченні вже наявних літальних апаратів.

Під час використання слабозв'язаних алгоритмів корекції інерціальна система та зовнішні вимірювальні пристрої виконують незалежні навігаційні вимірювання, які поєднує інтегральний фільтр Калмана, що формує на їх основі оцінку вектора стану. Перевагою використання такого алгоритму є висока надійність інтегрованої системи, а недоліком – взаємна кореляція похибок оцінок фільтра супутникового приймача і велика вартість.

У разі жорсткоз'єднаної схеми ступінь автономності інерціальної системи значно менша, ніж в сильнозв'язаних системах: допускається автономна робота протягом від декількох секунд до кількох десятків секунд. Основна навігаційна інформація виробляється в супутниковій навігаційній системі.

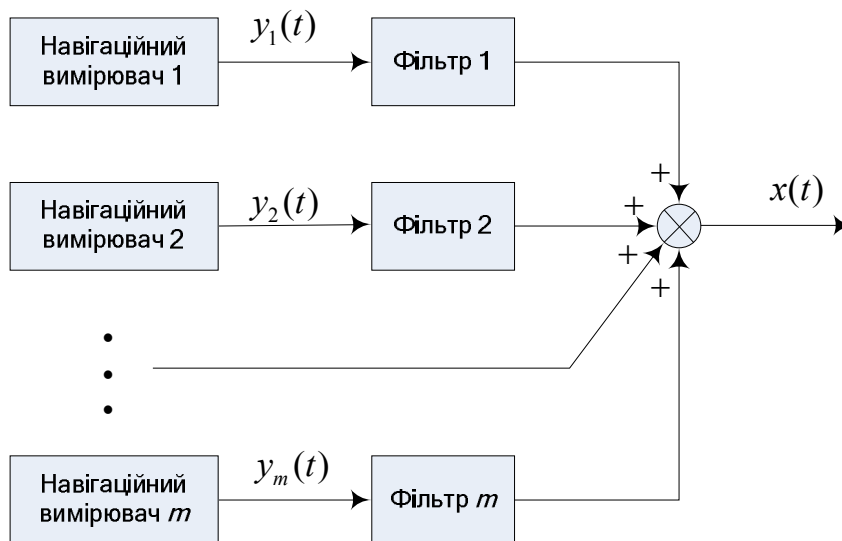
Структурну схему комплексування m вимірювачів за способом фільтрації показано на рисунку [1].

В основу розроблення паралельного числово-аналітичного методу структурного аналізу та параметричної оптимізації ІНК покладено розв'язання задачі оптимального визначення вагових коефіцієнтів вимірювань систем, що складають ІНК, за критерієм мінімуму дисперсії похибки результату вимірювань комплексом у цілому. У методі вимірювання фізичних величин за працею [2] не послідовно, а паралельно виконують $m \geq 2$ вимірювань Y_1, Y_m різними системами фізичної величини X , отримують результат вимірювань у вигляді

$$Y_i = k_i X + \xi_i, \quad i = \overline{1, m},$$

де k_i – коефіцієнт передачі перетворювача X в Y_i під час вимірювання; ξ_i – випадкова похибка i -ї системи, що має гаусівський розподіл з математичним сподіванням і дисперсією

$$M[\xi_i] = 0, D[\xi_i] = D_i.$$



Структурна схема комплексуювання N вимірювачів за способом фільтрації

Результати вимірювань $Y_1, \dots, Y_m$ для подальшого оброблення запам'ятовують. Оптимальні значення вагових коефіцієнтів $g_{1 \text{ опт}}, \dots, g_{m \text{ опт}}$ систем, що складають ІНК, визначають на основі використання апріорно відомих дисперсій $D_1, \dots, D_m$ за формулою

$$g_{i \text{ опт}} = \frac{1/D_i}{\sum_{i=1}^m 1/D_i} \quad i = \overline{1, m}.$$

Отримані оптимальні значення вагових коефіцієнтів систем використовують у формулах вимірювань для визначення оптимальної оцінки $X_{\text{опт}}$ ІНК фізичної величини X ,

$$X_{\text{опт}} = \sum_{i=1}^m g_{i \text{ опт}} Y_i,$$

мінімального значення дисперсії $D_{\min}$ оптимальної комплексної оцінки $X_{\text{опт}}$,

$$D_{\min} = g_{i \text{ опт}} D_i, \quad i = \overline{1, m},$$

середнього квадратичного значення оптимальної комплексної оцінки $X_{\text{опт}}$,

$$\sigma_{\min} = \sqrt{D_{\min}} = \sqrt{g_{i \text{ опт}} D_i},$$

мінімального значення коефіцієнта варіації оптимальної комплексної оцінки $X_{\text{опт}}$,

$$V_{\min} = \frac{\sigma_{\min}}{X_{\text{опт}}},$$

індексних показників W_1, W_2, W_3 порівняльної ефективності оптимального комплексного результату оцінювання відносно найменш точного вимірювача W_1 (мажоранта ІНК вимірювань),

$$W_1 = \frac{D_1}{D_{\min}},$$

відносно середньої арифметичної оцінки W_2 , з отриманням якої всі вагові коефіцієнти обирають однаковими і рівними $1/m$,

$$W_2 = \frac{\sum_{k=1}^m D_k}{m^2 D_{\min}},$$

відносно найбільш точного вимірника W_3 , (міноранта ІНК вимірювань),

$$W_3 = \frac{D_m}{D_{\min}}.$$

У випадку відсутності апріорних даних про дисперсії похибок систем для попередньої оцінки оптимальних вагових коефіцієнтів на першій ітерації оцінювання використовують середнє арифметичне значення результату вимірювань

$$X_0 = \sum_{i=1}^m \frac{Y_i}{m},$$

а в ролі оптимальних вагових коефіцієнтів – їх наближені апостеріорні оцінки у вигляді

$$g_{i*} = \frac{1 / (Y_i - X_0)^2}{\sum_{i=1}^m 1 / (Y_i - X_0)^2}.$$

Висновки. Розглянуто підхід до побудови ІНК на розв'язання задачі оптимального визначення вагових коефіцієнтів вимірювань систем, що складають ІНК за критерієм мінімуму дисперсії похибки результату вимірювань комплексом у цілому.

Список літератури

1. Синеглазов В. М. Оптимальная комплексная обработка данных в навигационных системах/ В. М. Синеглазов, Ш. И. Аскеров // Електроніка та системи управління. – К.: НАУ, 2011. – С. 73–78.
2. Игнатов В. А. Управление информационной избыточностью систем диагностирования и контроля. Контроль и управление техническим состоянием авиационного и радиоэлектронного оборудования воздушных судов гражданской авиации: сб. науч. трудов / В. А. Игнатов, Н. В. Боголюбов // отв. ред. В. А. Игнатов. – К.: КИИГА, 1990. – С. 3–14.

Ш. И. Аскеров

Комплексная обработка данных в навигационных системах беспилотных летательных аппаратов

Рассмотрена постановка задачи комплексной обработки данных в навигационных системах беспилотных летательных аппаратов на основе информации, поступающей из бесплатформенной инерциальной, спутниковой, аэрметрической и пирометрической систем.

Sh. S. Askerov

The task of complex data processing in navigational systems unmanned aerial vehicles

We consider the formulation of the problem of complex data in navigation systems, unmanned aerial vehicles, based on information received from the strapdown inertial, satellite, and aerometric systems.