

СЕКЦІЯ 1
КОМП'ЮТЕРНО-ІНТЕГРОВАНІ ТЕХНОЛОГІЇ ТА СИСТЕМИ
НАВІГАЦІЇ І КЕРУВАННЯ

УДК 629.7

**МЕТОД ПАРИТЕТУ ДЛЯ ВИЯВЛЕННЯ ВІДМОВ У НАДЛИШКОВИХ
БЕЗПЛАТФОРМНИХ ІНЕРЦІАЛЬНИХ НАВІГАЦІЙНИХ СИСТЕМ**

Лакоза С. Л.

Національний технічний університет України

«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського», Київ, Україна

E-mail: s.lakoz@kpi.ua

Проблема надійності є особливо гострою для безплатформних інерціальних навігаційних систем (БІНС), у яких короткочасна втрата первинної інформації означає неможливість правильного інтегрування рівнянь руху об'єкта.

Розповсюдженим способом підвищення надійності навігаційних систем є організація надлишкових каналів надходження інформації. Кращим вважається резервування на рівні чутливих елементів (ЧЕ) однієї навігаційної системи. Для цього можуть створюватися інерціальні вимірювальні блоки (ІВБ) різної конфігурації, наприклад, як описано у роботах [1, 2]. Такі надлишкові ІВБ окрім підвищення точності інформації з датчиків дозволяють ідентифікувати відмови вісей чутливості. Це дозволяє хибні сигнали взагалі виключити з обробки.

Розглянемо застосування метода вектора паритету для ідентифікації та виявлення відмов. Особливістю досліджуваного методу є можливість ідентифікації відмовивших ЧЕ при одночасній появі двох відмов. Стосовно БІНС з ЧЕ з двома вісями чутливості – це випадок відмови чи двох вимірювальних осей, чи, ймовірноше всього, відмова одного з двохкомпонентних вимірювачів. Розроблений алгоритм використовується для системи, яка має 6 входних осей чутливості, що дає можливість ідентифікувати 2 відмови. Але даний алгоритм неважко розширити і на будь-яку більшу кількість входних вісей.

Нехай рівняння вимірювань системи описуються у вигляді

$$y = Hx + f + \varepsilon \quad (1)$$

Для побудови алгоритму виявлення подвійної відмови використаємо метод розкладу на сингулярні значення (РСЗ). За допомогою даного методу переходять до так званого нуль-простору матриці H , у якому знаходять таку матрицю V , що задовольняє умови $VH = 0, V^T V = I_n$.

Як добре відомо, матриця вимірювань $H \in R^{n \times 3}$ у (1) відповідно до РСЗ може бути розкладена наступним шляхом:

$$H = U\Lambda = U[\Sigma \ 0]^T = U_1\Sigma,$$

де $U = [U_1 U_2]$, $UU^* = U^*U = I_n$, $U_1 \in R^{n \times 3}$, $U_2 \in R^{n \times (n-3)}$, $\Sigma = \text{diag}(\sigma_1, \sigma_2, \sigma_3)$, $\sigma_1 > \sigma_2 > \sigma_3 > 0$. Позначення $(\)^*$ – це комплексно-спряжена транспонована матриця.

Виходячи з вищеописаного, рівняння (1) можна записати

$$y = U_1 \Sigma x + f + \varepsilon,$$

а вектор паритету можна отримати помноживши зліва на U_2^*

$$p = U_2^* y = U_2^* (f + \varepsilon) \Rightarrow \overset{\text{в}}{f}_{null} = U_2 p = U_2 U_2^* y = U_2 U_2^* (f + \varepsilon). \quad (2)$$

Отже використовуючи $U_2 U_2^*$, ми можемо оцінити відмови за допомогою $\overset{\text{в}}{f}_{null}$.

Надалі у алгоритмі рівняння (2) буде використовуватися для оцінки відмов вимірювальних осей. Опишемо алгоритм виявлення подвійної відмови, вважаючи, що величини похибок по двом вимірювальним осям мають однакову величину, а використовувані в системі датчики є ідентичними. Так як ми маємо 6 осей чутливості, то ми можемо ізолювати до двох відмов, серед яких є 6 випадків відмов по одній вісі та 15 випадків подвійних відмов. А тому визначимо 21 опорний вектор похибок, як

$$\begin{aligned} \bar{f}_i &= \frac{\text{col}_i(U_2 U_2^*)}{\|\text{col}_i(U_2 U_2^*)\|}, i=1, \dots, 6 & \bar{f}_7 &= \frac{\bar{f}_1 + \bar{f}_2}{\|\bar{f}_1 + \bar{f}_2\|}; \\ \bar{f}_8 &= \frac{\bar{f}_1 + \bar{f}_3}{\|\bar{f}_1 + \bar{f}_3\|}; \dots; & \bar{f}_{11} &= \frac{\bar{f}_1 + \bar{f}_6}{\|\bar{f}_1 + \bar{f}_6\|}; \\ \bar{f}_{12} &= \frac{\bar{f}_2 + \bar{f}_3}{\|\bar{f}_2 + \bar{f}_3\|}; \dots; & \bar{f}_{21} &= \frac{\bar{f}_5 + \bar{f}_6}{\|\bar{f}_5 + \bar{f}_6\|}; \end{aligned}$$

де $\text{col}_i(\dots)$ – це i -тий стовпець матриці, що в дужках даного оператора.

Індекси 21 вектора похибок і відповідних відмовивших вісей ЧЕ наведено в таблиці 1.

Таблиця 1. Опорні вектори відмов

Індекс	Вісі	Індекс	Вісі	Індекс	Вісі	Індекс	Вісі	Індекс	Вісі	Індекс	Вісі
1	1	5	5	9	1, 4	13	2, 4	17	3, 5	21	5, 6
2	2	6	6	10	1, 5	14	2, 5	18	3, 6		
3	3	7	1, 2	11	1, 6	15	2, 6	19	4, 5		
4	4	8	1, 3	12	2, 3	16	3, 4	20	4, 6		

Алгоритм виявлення подвійних відмов:

1. Отримати U_2 з матриці вимірювань H за допомогою РСЗ.
2. Розрахувати 21 опорний вектор похибок, від $\bar{f}_1$ до $\bar{f}_{21}$, згідно таблиці 3.4 та вищенаведеного визначення.
3. Знайти $k = \arg \max_i p^T \bar{f}_i$, де $p = U_2 U_2^* y$, $\arg$ – значення аргументу індексу опорного вектора похибок.
4. Якщо $p^T \bar{f}_k > Th$, тоді k -ий датчик відмовив, точніше відповідна вісь ЧЕ. Якщо ж $p^T \bar{f}_k < Th$, то відмови датчиків відсутні.

Головна ідея, наведеного алгоритму виявлення подвійних відмов, – це проєктування вектора паритету p на 21 опорний вектор похибок. А потім необхідно вибрати опорний вектор, котрий має найбільшу проєкцію вектора p на свій напрям. Вимірювальні вісі, що відповідають даному опорному вектору можливо відмовили. Для виявлення факту відмови вісей їх похибка порівнюється з граничним значенням Th , при перевищенні якого діагностується відмова.

Ключові слова: надлишковість, ІВБ, БІНС, виявлення відмов.

Література

- [1] Пат. 106796 Україна, МПК6 G01C 21/00. Спосіб оптимального розміщення двокomпонентних датчиків у вимірювачі векторних величин / В. В. Мелешко (UA), А. В. Зазімко (UA), С. Л. Лакоза (UA). - а201214662; заявл. 21.12.2012; опубл. 10.10.2014, бюл. № 19/2014.
- [2] St. Guerrier, “Integration of Skew-Redundant MEMS-IMU with GPS for Improved Navigation Performance”, Master Project, Geodetic Engineering Laboratory, Ecole Lausanne Polytechnics Institute, June 2008.
- [3] M. Carminati, G. Ferrari, M. Sampietro, R. Grassetti, “Fault detection and isolation enhancement of an aircraft attitude and heading reference system based on MEMS inertial sensors”, *Procedia Chemistry*, 1 (2009), pp. 509–512.

УДК 629.7, 531.383

МОДЕЛЮВАННЯ ТА АНАЛІЗ СИСТЕМИ КЕРУВАННЯ КУТОВИМ ПОЛОЖЕННЯМ

Мураховський С. А., Мироненко П. С., Ткаченко А. В.

Національний технічний університет України

«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського», Київ, Україна

E-mail: s.murakhovsky@kpi.ua

В більшості задач керування кутовим положенням рухомих об’єктів математичні моделі, що використовується для синтезу керуючих впливів, передбачаються в лінійній постановці. Проте реальні об’єкти мають зазвичай нелінійну динаміку, тому актуальною є задача побудови систем керування, що враховують нелінійні властивості об’єктів. В представленій роботі проведено