

УДК 621.326

М. Паламар, д-р. техн. наук, проф., М. Стрембіцький, канд. техн. наук, доц.,  
Т. Горин

Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя, Україна

## СПОСІБ ЗБІЛЬШЕННЯ ТОЧНОСТІ ВИЗНАЧЕННЯ КУТОВОЇ ОРІЄНТАЦІЇ РЕФЛЕКТОРА СУПУТНИКОВОЇ АНТЕННОЇ СТАНЦІЇ ЗА ДОПОМОГОЮ MEMS АКСЕЛЕРОМЕТРА

М. Palamar, Dr., Prof., M. Strembicky Ph.D., Assoc., T. Horyn

### METHOD OF INCREASING MEASUREMENT ACCURACY ANGLE ORIENTATION REFLECTOR USING MEMS ACCELEROMETER

Для забезпечення достатнього рівня сигналу з антенної станції при роботі в штатному режимі радіоапаратури, важливу роль відіграє точність наведення рефлектора антенної системи на супутник. У зв'язку із розвитком сучасної елементної бази на світовому ринку доступна велика кількість давачів, виготовлених по технології MEMS. Пристрої такого типу забезпечують високу роздільну здатність та точність вимірювання, зберігаючи при цьому невеликі розміри в межах від 1 до 100 мкм.

Спосіб вимірювання робочих кутів антени, який запропонований авторами [1] придатний лише для платформи типу Нехарод, який вимірює кут нахилу платформи. Тому запропоновано використання давача кутів на основі MEMS акселерометра та магнітометра, яким можна поміряти кут місця та азимут. Для антен встановлення давача можливе на її рефлектор, що забезпечує підвищення точності орієнтації дзеркала антени. При використанні даного методу визначення кутового положення виникає потреба в калібруванні осей давача.

В роботі використано дані, що отримані із сенсора марки LSM303DLHC, який є електронним компасом, що належить до сенсорів, які виготовлені по технології MEMS. Це мікросхема в SMD корпусі, кількість виводів – 14, діапазон вимірювання акселерометра  $\pm 90^\circ$ , магнітометра  $\pm 180^\circ$ . Роздільна здатність акселерометра  $0.0027^\circ$ , магнітометра  $0.005^\circ$ , робоча напруга 3.3В, має вбудований температурний сенсор, роздільна здатність якого 12 біт, який призначений для коректування показів сенсора в залежності від температури.

Таким чином, задачею калібрування є визначення коефіцієнтів в рівнянні перетворення еліпсоїда в сферу[2]:

$$\begin{bmatrix} Ax \\ Ay \\ Az \end{bmatrix} = (M_{xyz}) \begin{bmatrix} 1/K_x & 0 & 0 \\ 0 & 1/K_y & 0 \\ 0 & 0 & 1/K_z \end{bmatrix} \begin{bmatrix} Rx - A_{x0} \\ Ry - A_{y0} \\ Rz - A_{z0} \end{bmatrix}, \quad (1)$$

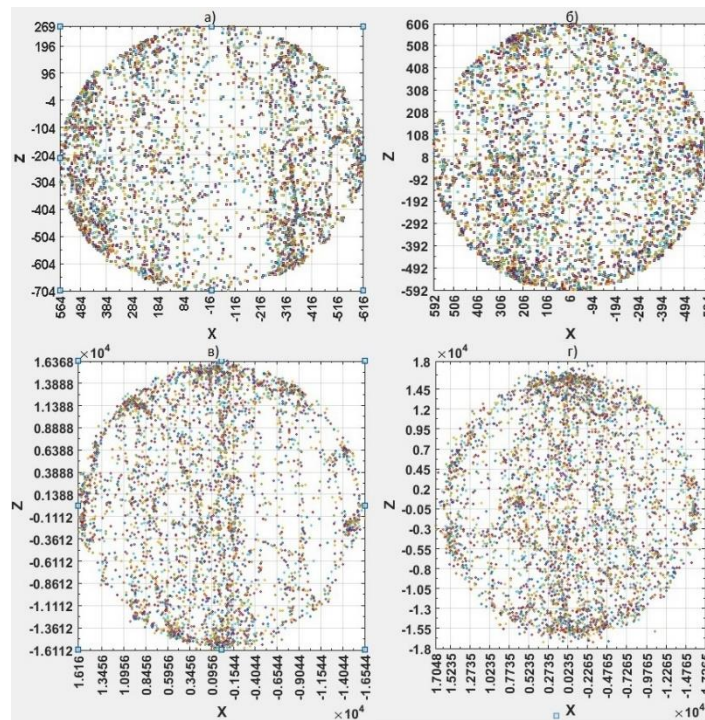
де  $A$  – скориговані значення XYZ,  $M$  – матриця нерівності,  $K$  – чутливість кожного каналу,  $R$  – вихідні дані із давача,  $A_0$  – коригуючі значення матриці.

Для усунення похибки зміщення системи координат було виконано коригування розміщення нульової точки давача за допомогою визначених коефіцієнтів. В такому випадку калібрування давача буде мати наступний вигляд [3]:

$$\bar{X}_a = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n X_{ia}, \quad X = X_{ia} - \bar{X}_a \quad (2)$$

де:  $X_{ia}$  – числові компоненти точок масиву даних;  $X_a$  – середнє значення;  $X$  – матриця коригуючих значень.

На рисунку 1 приведена візуалізація масиву даних експериментально отриманих із магнітометра та акселерометра до калібрування та після відповідно. Таке вирішення задачі калібрування реалізує ідентифікацію еліпсоїда по масиву даних. Яке дозволяє визначити не тільки зміщення нуля, а також статистично оцінити коефіцієнти підсилення та визначити орієнтацію осей чутливості. Після калібрування похибка даних складає менше 1%.



Основною перевагою методу визначення вектора оцінок з допомогою метода Рисунок 1. «Еліпсоїд чутливості» для магнітометра до калібрування (а), та після калібрування (б), та акселерометра до калібрування (в), та після калібрування (г) найменших квадратів є можливість проведення процедури калібрування без прив'язки до системи координат. Запропонований метод дозволяє позбутися від похибки зміщення нуля, а також компенсувати неоднорідний масштаб осей датчиків та похибку кутової орієнтації магнітометра.

### Література

1. Паламар М.І. Спосіб підвищення точності вимірювання нахилу опорно- поворотної платформи антенної системи за допомогою MEMS акселерометра / М.І. Паламар, П.І. Мальований, М.О. Стрембіцький // Фундаментальні та прикладні проблеми сучасних технологій: зб. тез доповідей міжнар. наук.-техн. конф. Присвяченої 55-річчю заснування ТНТУ та 170- річчю з дня народження І. Пулюя, (Тернопіль, 19–20 травня 2015) / М-во освіти і науки України, Терн. націон. техн. ун-т ім. І. Пулюя [та ін]. – Тернопіль : ТНТУ, 2015. – С. 124–125.
2. Ganssle J. A Designer's Guide to MEMS Sensors [Електронний ресурс]: Digi-Key Electronics. – 2012. – <https://www.digikey.com/en/articles/techzone/2012/jul/a-designers-guide-to-mems-sensors>.
3. a-designers-guide-to-mems-sensors.
4. Корреляция, ковариация и девиация (часть 3) [Електронний ресурс] <https://habr.com/ru/post/263907>.