

Simplificación de la calibración térmica para acelerómetros MEMS

Javier Martínez Lahoz¹, David Asiain Ansorena¹, José Ramón Beltrán Blazquez²

¹ Afiliación: Departamento de Ingeniería Electrónica, EUPLA

Instituto de Investigación en Ingeniería de Aragón (I3A)

Universidad de Zaragoza, Mariano Esquillor s/n, 50018, Zaragoza, Spain.

Tel. +34-659874779, e-mail: jmartinezhahoz@unizar.es

²Afiliación: Departamento de Ingeniería Electrónica y Comunicaciones, UNIZAR

Resumen

Las derivas térmicas de los sensores inerciales MEMS limitan su uso, debido al coste de su calibración. Simplificando los métodos de compensación y calibración térmica se puede reducir el coste y equipamiento necesario. En este trabajo se propone un algoritmo ligero de compensación con su correspondiente técnica rápida de calibración.

Cuerpo

Los sistemas inerciales MEMS han logrado una rápida expansión gracias a sus ventajas frente a tecnologías tradicionales: bajo coste, menor consumo energético, menor tamaño. Sin embargo, uno de sus principales inconvenientes es la sensibilidad térmica que exhiben; las variaciones térmicas del ambiente pueden alterar el valor aceleración detectada en gran medida. Esto puede ser especialmente importante en aplicaciones que requieran precisión y estabilidad en la medida, como las medidas de inclinación.

La deriva térmica de los acelerómetros MEMS esta relacionada con imperfecciones en el proceso de fabricación de los sensores. Esto provoca que los valores de deriva térmica en cada acelerómetro sean aleatorios y no se puedan generalizar. Existen técnicas de diseño y encapsulado que reducen la deriva térmica, sin embargo, también aumenta el coste del sensor.

Una alternativa a las soluciones basadas en modificaciones físicas consiste en compensar de forma software el efecto producido por la deriva térmica. Es por esto que muchos sensores de este tipo incorporan a su vez un sensor de temperatura.

Existen diversas técnicas de compensación software: superficies de compensación, curvas de compensación, splines, redes neuronales... En todos ellos, la técnica de calibración habitual consiste en ensayar el acelerómetro en múltiples temperaturas y orientaciones. Esto permite obtener los parámetros de compensación mediante una regresión. Sin

embargo, esto requiere de una gran cantidad de datos y tiempo para caracterizar el sistema.

La técnica propuesta esta orientada a reducir el coste de compensación y calibración. Se basa en emplear el modelo de comportamiento térmico del acelerómetro para compensar la deriva. Según este modelo, el valor de salida del acelerómetro es una función de la aceleración real y la temperatura, y contamos como parámetros de calibración la deriva térmica del cero (TDB) y la deriva térmica de la sensibilidad (TDSF). El sentido y valor del TDB son siempre aleatorios. Sin embargo, el sentido del TDSF siempre es negativo: la sensibilidad se reduce cuando la temperatura aumenta.

$$X = X_0 + \Delta T(TDB + TDSF \cdot X_0)$$

Emplear esta técnica permite reducir el coste computacional de la compensación, lo que facilita su implementación en un microcontrolador. Además, al emplear menos parámetros que otras técnicas se reduce la cantidad de información necesaria para ajustarlos.

Tradicionalmente estos parámetros se ajustarían ensayando las unidades en múltiples orientaciones y temperaturas para realizar una regresión. Sin embargo, es posible obtener los valores de un eje con únicamente dos orientaciones y dos temperaturas en cada una. Esto permite analizar y obtener los parámetros de los tres ejes de forma simultánea. La orientación óptima de calibración es aquella donde los tres ejes reciben la misma aceleración gravitatoria. Esta es de 577mg y se obtiene con una rotación de 45° sobre el eje Z y otra de 55° sobre el eje Y.

Para poder calibrar correctamente el acelerómetro es necesario generar una variación térmica y, posteriormente, invertir la orientación del acelerómetro, de forma que los tres ejes reciban -577mg (rotación de 180° sobre el eje X). Tras esto se aplica otra variación térmica.

Se ha desarrollado un algoritmo ligero que analiza el ensayo de forma secuencial, almacenando únicamente la información más importante. Esto permite a un microcontrolador de bajo coste analizar el ensayo en tiempo real, abriendo la puerta a la calibración simultánea de múltiples unidades.

El único equipamiento necesario para realizar esta calibración es una fuente de calor y una sujeción mecánica que permita colocar las unidades en las orientaciones adecuada.

Durante estos ensayos también es necesario tener en cuenta que los acelerómetros sufren un efecto de autocalentamiento al encenderse, por lo que es recomendable esperar 10 minutos antes de comenzar el ensayo de calibración.

Una vez completado el ensayo se puede emplear un algoritmo para analizar la relación entre la variación térmica y la variación de aceleración en las dos orientaciones. Con esta información se pueden obtener los dos parámetros característicos: el TDB y el TDSF.

Una vez se han obtenido estos parámetros se puede reordenar la ecuación característica para obtener la aceleración real a partir de la aceleración detectada y la temperatura.

$$X_0 = \frac{X - \Delta T \cdot TDB}{1 + \Delta T \cdot TDSF}$$

Conclusiones

Esta técnica permite reducir de forma efectiva el efecto de la deriva térmica en las lecturas de los acelerómetros MEMS. Se ha logrado reducir la deriva de los acelerómetros en su uso como inclinómetros entre un 25% y un 80%. Demostrando una efectividad comparable a aquella lograda por técnicas más complejas.

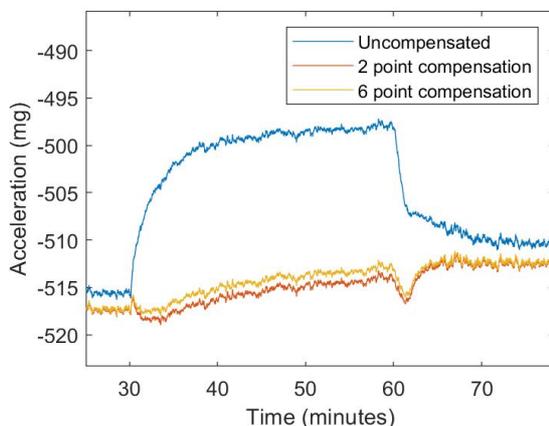


Figura 1: Efecto de la compensación térmica.

Además, esta técnica permite realizar la calibración sin equipamiento especializado en un tiempo inferior a 2 horas. Esto puede reducir en gran medida el coste de calibración, especialmente en ambientes industriales.

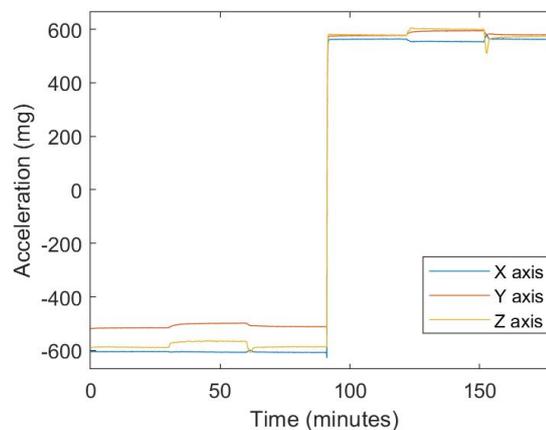


Figura 2: Perfil de las aceleraciones durante el ensayo de calibración

REFERENCIAS (deben seguir todas el mismo formato: Estilo ISO 690 -ver anexo-)

- HE, J.; ZHOU, W.; YU, H.; HE, X.; PENG, P. Structural designing of a MEMS capacitive accelerometer for low temperature coefficient and high linearity. *Sensors* 2018, 18, 643.
- LI, H.; ZHAI, Y.; TAO, Z.; GUI, Y.; TAN, X. Thermal drift investigation of an SOI-based MEMS capacitive sensor with an asymmetric structure. *Sensors* 2019, 19, 3522.
- NIU, X.; LI, Y.; ZHANG, H.; WANG, Q.; BAN, Y. Fast thermal calibration of low-grade inertial sensors and inertial measurement units. *Sensors* 2013, 13, 12192–12217.
- MARTÍNEZ, J.; ASIAIN, D.; BELTRÁN, J.R. Lightweight Thermal Compensation Technique for MEMS Capacitive Accelerometer Oriented to Quasi-Static Measurements. *Sensors* 2021, 21, 3117.
- RUZZA, G.; GUERREIRO, L.; REVELLINO, P.; GUADAGNO, F.M. Thermal compensation of low-cost MEMS accelerometers for tilt measurements. *Sensors* 2018, 18, 2536
- ZHU, M.; PANG, L.; XIAO, Z.; SHEN, C.; CAO, H.; SHI, Y.; LIU, J. Temperature Drift Compensation for High-G MEMS Accelerometer Based on RBF NN Improved Method. *Applied Sciences* 2019, 9, 695.