

КАЛИБРОВКА БОРТОВЫХ МАГНИТОМЕТРОВ НАНОСПУТНИКА

Ю. А. Володащик

Белорусский государственный университет, г. Минск;

volodashyk5@gmail.com;

науч. рук. – С.В. Василенко, ст. преп.

В работе рассматриваются два метода калибровки бортовых магнитометров наноспутника, широко используемый метод 3х-мерного вращения и статического метода с использованием имитатора магнитного поля. Определяемыми параметрами являются ошибки непосредственно датчиков, а также углы взаимной ориентации осей датчиков, вызванные неточностью процесса монтажа и сборки наноспутника. Приведены краткое описание методов, сравнение и анализ точности их работы, рекомендации по применимости методов. Указано направление дальнейшего совершенствования метода калибровки с использованием имитатора магнитного поля.

Ключевые слова: наноспутник, система ориентации и стабилизации, магнитометры, калибровка, Matlab, клетка Гельмгольца.

ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время сотрудниками и студентами факультета РФиКТ разрабатывается образовательный наноспутник BSUSat-2. Спутник обладает электромагнитной системой ориентации и стабилизации. Для её работы необходимо определять ориентацию наноспутника относительно вектора магнитного поля Земли на основе показаний бортовых магнитометров. Для повышения надёжности измерений используется не один, а совокупность магнитометров, распределённых по объёму спутника.

Однако, в связи с этим, на точность измерения магнитного поля влияют как неидеальные характеристики самих датчиков, так и ошибки их взаимного расположения, вызванные неточностью монтажа микросхем и сборочного процесса в целом.

Наземная калибровка системы бортовых магнитометров наноспутника позволит устранить или, по крайней мере, уменьшить влияние названных факторов на точность измерений.

Различные методы калибровки имеют свои преимущества и недостатки. Различаются по точностным характеристикам, количеству определяемых параметров, сложности процесса и условиям применимости.

МОДЕЛИРОВАНИЕ

Исследования проводились в среде Matlab, с использованием модели инерциальных датчиков IMU [1]. Используемые параметры, задающие модель магнитометра:

- Диапазон измерений
- Разрешение
- Постоянное смещение датчика
- Чувствительность
- Неортогональность осей датчика
- Плотность шума

Чувствительность осей не является встроенным параметром модели, поэтому его необходимо было создавать дополнительно.

Система определения ориентации предполагалась состоящей из двух магнитометров. Дополнительно к параметрам каждого из датчиков задавалась их взаимная ориентация с помощью углов Эйлера. Система координат датчика 1 предполагалась совпадающая с СКС. Численные значения параметров, указанные в таблице 1, были взяты с ориентировкой на реальные характеристики из технической документации интегральных магнитометров.

Таблица 3.

Численные значения параметров модели

Параметр	Датчик 1	Датчик 2
Диапазон измерений, мкТ	400	380
Разрешение, $\frac{\text{мкТ}}{\text{LSB}}$	0.0140	0.0146
Постоянное смещение датчика, мкТ	[10 8 1]	[5 8 5]
Чувствительность	[1 1 1]	[1.0000 0.9920 1.0101]
Плотность шума, $10^{-9} \frac{\text{мкТ}}{\sqrt{\text{Гц}}}$	[70 70 50]	[70 50 50]
Внешнее магнитное поле, мкТ	[16.984 2.583 48.479]	

В работе исследовалось два метода калибровки:

- трёхмерного вращения
- с использованием имитатора магнитного поля.

Схема вычислительного эксперимента приведена на Рис. 1. Разница для двух методов учитывалась в блоке «Моделирование».

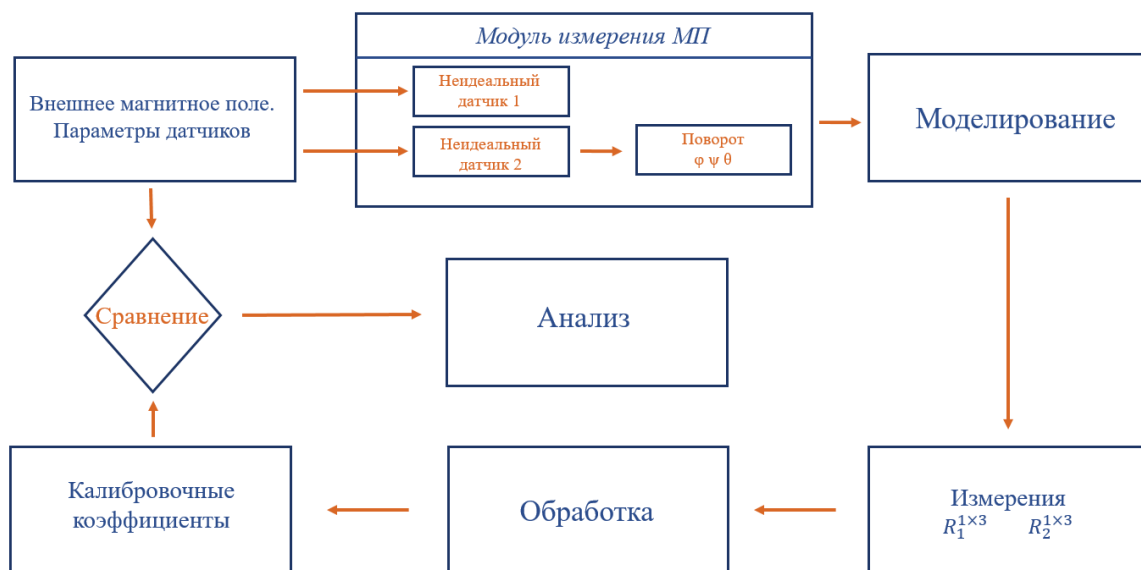


Рис. 1. Схема вычислительного эксперимента

В первом методе калибровки модель спутника равномерно вращалась во всевозможных направлениях в однородном магнитном поле Земли; во втором - спутник устанавливался статично в имитаторе магнитного поля (клетке Гельмгольца), затем создавалось поле одной амплитуды, но различного направления, в присутствии магнитного поля Земли, количество направлений было взято равным шести. Показания магнитометров аппроксимировались эллипсоидом вращения. По параметрам эллипсоидов находились калибровочные коэффициенты. По откалиброванным показаниям датчиков находилась их взаимная ориентация.

РЕЗУЛЬТАТЫ

Результаты определения параметров датчиков приведены в Таблица 4.

Как видно, точность определения заданных параметров модели немного выше при первом методе калибровки, это можно объяснить большим количеством измерений, участвующих в обработке. При втором методе калибровки оказалось невозможным отличить смещение нуля датчика от постоянной составляющей внешнего магнитного поля Земли. Однако, это не помешало определить углы взаимной ориентации датчиков данным методом, см. Таблица 5.

Таблица 4.

Точность определения параметров датчиков 1, 2

Метод	Смещение нуля, мкТ		Чувствительность осей XYZ	
	Заданное	Полученное	Заданная	Полученная
1	[10 8 1] [5 8 5]	[10.0002 8.0010 1.0026] [5.0736 8.0646 5.0403]	[1 1 1] [1 0.99 1.01]	[1.0000,1.0001,0.9999] [1.0001 1.0000 0.9999]
2		[26.9850 10.001 49.4760] [23.6511 10.2391 54.412]		[0.9749 1.0030 1.0227] [0.9487 1.0763 0.9794]

Таблица 5.

Точность определения ориентации датчиков

	Углы Эйлера, °		
	φ	ψ	θ
Заданные	51	-10	128
Метод 1	50.9272	-10.1701	128.1583
Метод 2	51.4239	-10.8443	128.2230

ВЫВОДЫ

Методом 3х-мерного вращения возможно получить как калибровочные параметры самих датчиков, так и ошибки, связанные с неточностью монтажа системы датчиков. Однако, им не решается проблема ориентации системы координат датчиков относительно системы координат связанной со спутником.

Используя метод статичной калибровки в имитаторе магнитного поля возможно получить все калибровочные параметры за исключением смещения нуля. Есть основания полагать, что данным методом возможно произвести полноценную калибровку при относительно небольшом (2-3) количестве повторений процесса при различных ориентациях наноспутника в имитаторе. Преимуществом данного метода являются возможность определения взаимной ориентации СКД и СКС. Также его достоинством является безопасность процесса калибровки собранного наноспутника.

Библиографические ссылки

1. IMU Simulation model. Matlab. [Electronic resource] URL: https://www.mathworks.com/help/fusion/ref/imu.html?s_tid=srchtitle (date of access: 24.05.2021).
2. MEMS магнитометр LIS3MDL. [Electronic resource] URL: <https://static.chipdip.ru/lib/401/DOC001401806.pdf> (date of access: 24.05.2021).