

## КАЛИБРОВКА ТИПОВЫХ МАГНИТОМЕТРОВ НА ПРИМЕРЕ НМС5883L

Собецкий А.В.

Научный руководитель: А.С. Фадеев

Национальный Исследовательский Томский Политехнический Университет  
avs69@tpu.ru

### Введение

Магнитометр – это устройство, измеряющее напряженность магнитного поля. В настоящее время благодаря небольшим габаритам и низкой стоимости наибольшую популярность приобрели цифровые микросхемы, содержащие в своем составе магниторезистивные датчики, позволяющие измерять напряженность магнитного поля вдоль трех взаимоперпендикулярных осей – X, Y, Z, как показано на рисунке 1.

Одним из таких датчиков является НМС5883L компании Honeywell. Он является типовым представителем магнитометров общего назначения [1], применяемых в мобильных устройствах, автомобильных навигационных системах, квадрокоптерах и др.

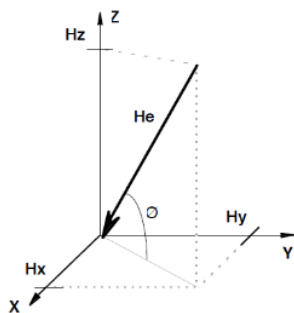


Рис. 1. Расположение осей типового магнетометра

Направление и величина модуля магнитного поля земли рассчитывается по значениям напряженности каждой из осей магнетометра (1.1) [2]:

$$|He| = \sqrt{H_x^2 + H_y^2 + H_z^2} \quad (1.1)$$

Наиболее часто магнетометр используется в качестве компаса, т.е. для определения направления на север. Тогда предполагается, что z-составляющая напряженности  $H_z = 0$ , и направление компаса в градусах определяется по формуле 1.2:

$$He = \varphi - \frac{180}{\pi} \cdot \arctan \frac{H_x}{H_y} \quad (1.2)$$

Где  $\varphi = 90$ , если  $H_y > 0$  и  $\varphi = 270$ , если  $H_y < 0$ .

В случаях, когда  $H_y = 0$ ,  $He = 180$  (если  $H_x < 0$ ) или  $He = 0$  (если  $H_x > 0$ )

### Постановка проблемы

На практике измеренные величины магнитного поля могут быть как близки к таковым в

реальности, так и иметь существенную погрешность, которая обуславливается следующими причинами [3]:

- наличие искусственных полей вокруг датчика, например, магнитов или проводов питания;
- искажение уже имеющегося магнитного поля, например, присутствием вблизи датчика элементов из никеля или железа;
- неперпендикулярность осей сенсора.

Первые две причины помех достаточно просто устраняются либо измерением величин искажения и введением смещения при расчете напряженностей, либо устранением самой причины помехи.

Для того, чтобы исключить влияние третьей причины, необходимо провести калибровку датчика.

### Процедура калибровки

Магнитометр закрепляется на бруске формы параллелепипед и подключается по протоколу I2C к микроконтроллеру Arduino, который в свою очередь передает данные с датчика на компьютер с заданной периодичностью, например, раз в 200 мс.

Поставив брусок на горизонтальную поверхность, и повернув его в этой плоскости на 360 градусов, вектор магнитной индукции очертит круг на мнимой сфере (Рисунок 2).

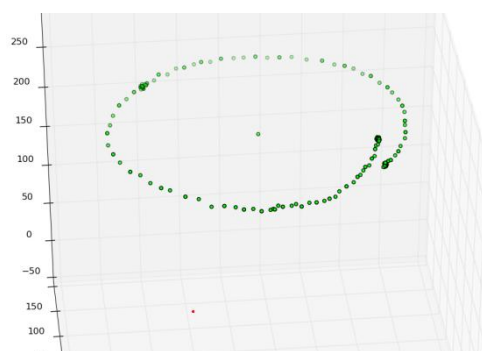


Рис. 2. Значения вектора магнитной индукции при полном обороте

Перевернув брусок на противоположную сторону, и снова повернув на 360 градусов, получим еще один круг на сфере вокруг вектора гравитации. Соединив центры этих кругов, получим прямую, параллельную одной из осей датчика. По отклонению полученной прямой и определяется поправка, которую необходимо внести.

Вся процедура калибровки сводится к вычислению матрицы трансформации и смещения [4]. Порядок получения откалиброванных данных показан на рисунке 3.

$$\begin{matrix} \text{Откалиброванные данные} \\ \downarrow \\ \begin{bmatrix} X_c \\ Y_c \\ Z_c \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} M_{11} & M_{12} & M_{13} \\ M_{21} & M_{22} & M_{23} \\ M_{31} & M_{32} & M_{33} \end{bmatrix} \cdot \begin{pmatrix} X_{nc} \\ Y_{nc} \\ Z_{nc} \end{pmatrix} - \begin{bmatrix} B_x \\ B_y \\ B_z \end{bmatrix} \\ \uparrow \qquad \qquad \qquad \uparrow \\ \text{Матрица трансформации} \qquad \qquad \text{Смещение} \end{matrix}$$

Рис. 3. Получение откалиброванных данных с помощью матриц смещения и трансформации

Алгоритм получения матрицы трансформации:  
1. Для каждой из сторон бруска снять координаты двух точек  $P_{1i}$  и  $P_{2i}$ . Причем вторая точка получается вращением бруска на 180 градусов относительно первоначального положения.

$$P_{1i} = (X, Y, Z), P_{2i} = (X, Y, Z)$$

где  $i = 1, 2 \dots 6$  – номер стороны.

2. Найти центры кругов вращения по двум точкам каждой из сторон (2.1).

$$P_{ci} = \frac{P_{1i} + P_{2i}}{2} \quad (2.1)$$

3. Соединить противоположные центры, получив взаимное расположение осей сенсора (Рисунок 4).

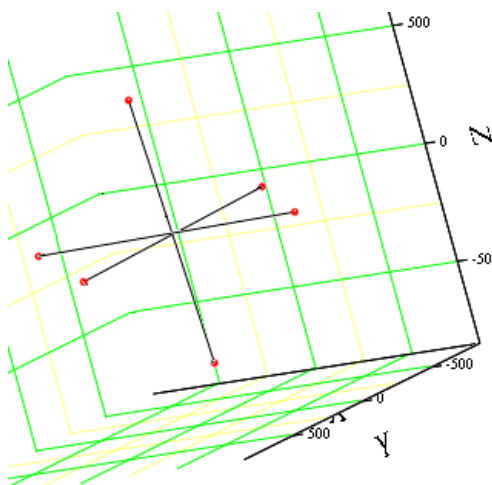


Рис. 4 – Взаимное расположение осей неоткалиброванного датчика

4. Вычлечь противоположные вектора друг из друга и получить тройку векторов, показывающих реальное взаимное расположение осей. На ось, соответствующую каждому такому вектору, указывает его самый значимый член.

5. Разделить каждый вектор на самый значимый член, получив колонки матрицы размерностью  $3 \times 3$ .

6. Матрица, обратная данной и есть матрица трансформации.

Определение матрицы смещения:

1. Найти центры трех прямых, образованных соединением двух противоположных центров кругов (2.2):

$$X_{ci} = \frac{P_{ci} + P_{cj}}{2} \quad (2.2)$$

2. Матрица смещения  $B$  рассчитывается по формуле 2.3.

$$B = \frac{X_{c1} + X_{c2} + X_{c3}}{3} \quad (2.3)$$

5. Результат калибровки представлен на рисунке 5.

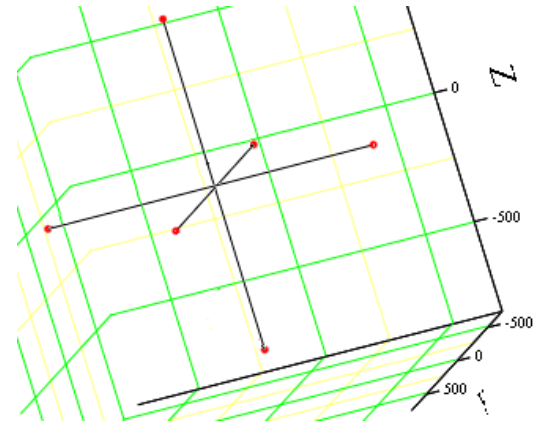


Рис.5. Взаимное расположение осей датчика после калибровки

### Заключение

В результате калибровки датчика HMC5883L были получены матрицы трансформации и смещения, исправляющие неточности в расположении осей внутри корпуса микросхемы. С помощью полученных матриц можно в реальном времени на микроконтроллере получать откалиброванные значения.

### Список использованных источников

1. Магнитометры: принцип действия, компенсация ошибок [Электронный ресурс]. – URL:

<http://www.rlocman.ru/review/article.html?di=143960> (дата обращения 05.09.2016).

2. Compass Heading Using Magnetometers: техническая документация [Электронный ресурс]. – URL:

[https://aerospace.honeywell.com/en/~media/aerospace/files/application-note/an203\\_compass\\_heading\\_using\\_magnetometers.pdf](https://aerospace.honeywell.com/en/~media/aerospace/files/application-note/an203_compass_heading_using_magnetometers.pdf) (дата обращения 01.10.2016).

3. Magnetometer [Электронный ресурс]. – URL: <http://www.vectornav.com/support/library/magnetometer> (дата обращения 02.10.2016).

4. Advanced hard and soft iron magnetometer calibration for dummies [Электронный ресурс]. – URL: <http://diydrone.com/profiles/blogs/advanced-hard-and-soft-iron-magnetometer-calibration-for-dummies> (дата обращения 02.10.2016).