

МЕТОДЫ ПОВЫШЕНИЯ ТОЧНОСТИ ИЗМЕРЕНИЙ ЭЛЕКТРОННОГО КОМПАСА

Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники
г. Минск, Республика Беларусь

Миклашевский А.В.

Саломатин С.Б. – к.т.н., доцент

В работе рассматриваются основные факторы, которые необходимо учитывать при создании электронного компаса с учетом его ориентации в трехмерном пространстве. Рассматриваются алгоритмы калибровки датчиков, используемых в составе компаса. А также алгоритмы компенсации шумов измерений датчиков. В качестве датчиков используется трехосевой MEMS-магнитометр и трехосевой MEMS-акселерометр.

Электронный компас, как и обычный компас, дает информацию о направлении на магнитный Северный полюс Земли. В данной работе для создания электронного компаса используются MEMS (Micro-Electro-Mechanical System) датчики, а именно акселерометр и магнитометр. Использование датчиков, изготовленных по данной технологии весьма удобно, т.к. они дешевы, имеют маленькие размеры и низкое энергопотребление, однако при этом обладают невысокой точностью. Поэтому для получения достаточной точности измерений их необходимо откалибровать, а полученные данные фильтровать при помощи специальных алгоритмов.

Вектор напряженности магнитного поля Земли имеет значения напряженности в пределах 25-65 мкТл и угол наклона в пределах -90° - $+90^\circ$, в зависимости от географического положения [1]. Для его измерения используется трехосевой магнитометр. При вращении магнитометра в одной из плоскостей, например, горизонтальной, и построении графика измеренных значений, в идеальном случае (в отсутствии каких-либо посторонних источников магнитных помех) должен получиться круг с центром в точке (0,0) [2]. Однако в реальных условиях существует множество источников магнитных помех, которые классифицируются в литературе на два основных типа: Hard Iron sources и Soft iron sources. Первыми источниками (Hard Iron Sources) магнитных полей являются источники, которые обладают постоянным магнитным полем, например, другой магнит может создавать мешающее поле, которое будет накладываться на результаты измерений. В этом случае центр окружности, полученной при вращении магнитометра в горизонтальной плоскости, будет смещен из точки (0, 0), в точку со значением, равным значению вектора напряженности магнитной помехи. В случае Soft iron источников, центр окружности остается в своей первоначальной точке (0,0), однако окружность искажается и приобретает форму эллипса. Часто данные эффекты могут действовать одновременно, в таком случае вместо окружности с центром в точке (0,0) и радиусом, равным вектору напряженности магнитного поля, получается эллипсоид, сдвинутый относительно начала координат. Результат такого воздействия для случая в трехмерном пространстве можно увидеть на рисунке 1 [2].

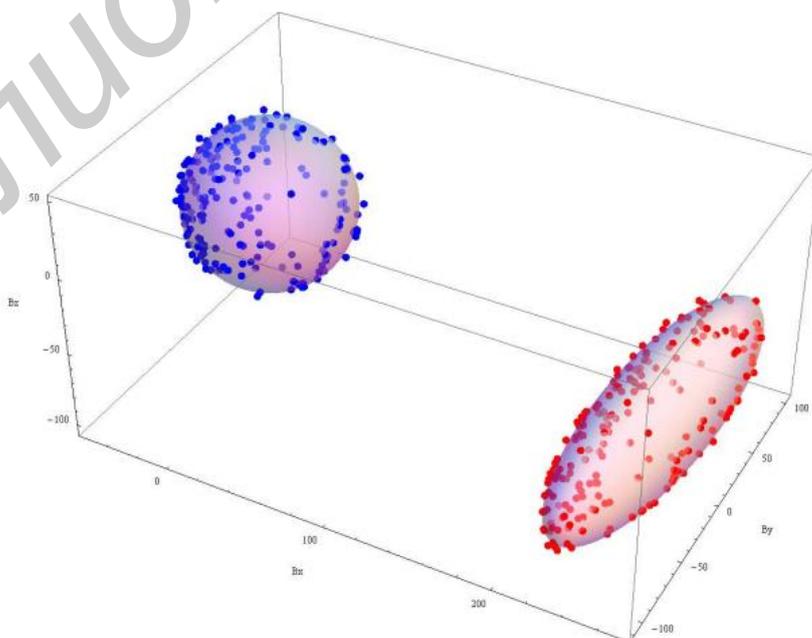


Рис. 1 – Сравнение откалиброванных и неоткалиброванных данных магнетометра

Для избежания подобных внешних воздействий используются специальные алгоритмы калибровки. В работе используется алгоритм калибровки в основе которого лежит метод наименьших квадратов. В нем эллипс представлен общим уравнением квадратной поверхности в трех измерениях:

$$ax^2 + by^2 + cz^2 + 2fyz + 2gxz + 2hyz + 2px + 2qy + 2rz + d = 0 \quad (1)$$

Целью алгоритма является нахождение матрицы корректировочных коэффициентов K:

$$K = \begin{bmatrix} a & h & g \\ h & b & f \\ g & f & c \end{bmatrix} \quad (2)$$

которые являются скалярами, при их подстановке в уравнение (1) эллипс преобразуется в сферу с центром в точке (0,0).

Еще одним фактором, влияющим на точность измерений электронного компаса является его положение в пространстве относительно вектора напряженности магнитного поля Земли. Случайное расположение (при любом наклоне) компаса относительно горизонтальной плоскости вносит неточность в результаты измерений. Для учета угла наклона компаса относительно горизонтальной плоскости используются показания акселерометра. При помощи акселерометра вычисляются углы крена и тангажа по формулам (3) и (4).

$$roll = \arctan \left(\frac{Accel_Y}{(Accel_X)^2 + (Accel_Z)^2} \right) \quad (3)$$

$$pitch = \arctan \left(\frac{Accel_X}{(Accel_X)^2 + (Accel_Z)^2} \right) \quad (4)$$

Далее эти выражения используются для получения направления на Север с учетом наклона компаса:

$$XH = m_x \cos(\beta) + m_y \sin(\beta) \sin(\alpha) + m_z \sin(\beta) \cos(\alpha) \quad (5)$$

$$YH = m_y \cos(\alpha) + m_z \cos(\beta) \quad (6)$$

$$\gamma = \arctan \left(\frac{-YH}{XH} \right) \quad (7)$$

где α, β – углы крена и тангажа, соответственно, а γ – угол рыскания (действительное направление на Север).

Для устранения шумов измерений датчиков в данной работе используется фильтр Калмана[3]. Получившаяся модель системы представлена на рисунке 2.

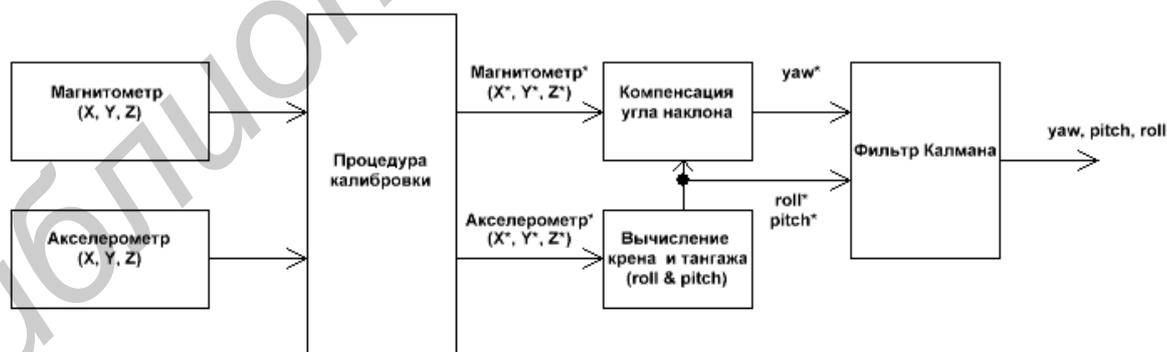


Рис. 2 – Структурная схема электронного компаса

Таким образом в работе рассмотрены основные факторы, влияющие на точность измерения электронного компаса. В дальнейшей работе планируется увеличение точности компаса при помощи гироскопа и использования иных видов фильтра Калмана (таких как EKF, UKF).

Список использованных источников:

6. M.J.Caruso, T.Bratland, C.H.Smith, R.Schneider, "A New Perspective on Magnetic Field Sensing", Sensors Expo Proceedings, October 1998, 195-213.
7. Talat Ozyagcilar. Calibrating an eCompass in the Presence of Hard and Soft Iron Interference. Document Number: AN4246, Freescale Semiconductor, 2011.
8. Abyarjoo F., Barreto A., Cofino J., Ortega F.R. (2015) Implementing a Sensor Fusion Algorithm for 3D Orientation Detection with Inertial/Magnetic Sensors. In: Sobh T., Elleithy K. (eds) Innovations and Advances in Computing, Informatics, Systems Sciences, Networking and Engineering. Lecture Notes in Electrical Engineering, vol 313. Springer, Cham