

Современные технологии и методы контроля в авиационной и космической отраслях

способа – усложнение и удорожание схемы за счет использования дополнительных операционных усилителей;

2) подключение на выходе компаратора триггера Шмитта. Недостатки – наличие гистерезиса триггера. Результатом этого является появление ошибок системы термостатирования. Кроме того, применение триггера Шмитта не избавляет от необходимости использования инвертора;

3) применение сглаживающего LC-фильтра в цепи питания нагревателя и охладителя. Расчеты показывают, что для эффективного сглаживания необходимо применение фильтра с большой постоянной времени, реализовать которую в условиях скважинного прибора не представляется возможным;

4) использование компаратора с основным и инверсным выходами, что позволяет отказаться от использования инверторов и дополнительных усилителей. Основной и инверсные выходы компаратора подключаются непосредственно к цепи базы транзисторов, выполняющих роль ключей. Примером такого компаратора является микросхема К554СА4.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Белянин Л.Н., Мартемьянов В.М. Термостатирование чувствительных элементов скважинных приборов. Российская научно-техническая конференция «Научно-технические проблемы приборостроения и машиностроения», г.Томск, 28 –29 сентября 2004 года. Сборник трудов. – Томск: издательство ТПУ, 2004, с.59 – 62.

2. Пакулько С.Ю. Система термостатирования узла чувствительных элементов скважинного прибора. 15 международная научно-практическая конференция студентов и молодых ученых «Современная техника и технологии», г. Томск 04 – 08 мая 2009. Сборник трудов. – Томск: издательство ТПУ, 2009. – С. 205, 206.

**ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПАРАМЕТРОВ ОРИЕНТАЦИИ НА ОСНОВЕ МЭМС
АКСЕЛЕРОМЕТРА И МАГНЕТОМЕТРА**

Ло Ван Хао

Научный руководитель: Нестеренко Т.Г., доцент, к.т.н.

Национальный исследовательский Томский политехнический университет

Россия, г. Томск, пр. Ленина, 30, 634050

E-mail: lovanhao.pro@gmail.com

**DETERMINING THE ORIENTATION PARAMETERS USING THE MEMS
ACCELEROMETER AND MAGNETOMETER**

Lo Van Hao

Scientific Supervisor: Associate Professor, Ph.D., Nesterenko T.G.,

Tomsk Polytechnic University

Russia, Tomsk, Lenin str., 30, 634050

E-mail: lovanhao.pro@gmail.com

Для определения положения объекта на поверхности Земли наибольшее распространение получили географические координаты, с помощью которых можно наблюдать ориентацию и навигацию объекта. Информация об ориентации объекта в пространстве является основополагающей для задач навигации этого объекта на Земле [2]. В географической системе координат задача ориентации понимается как определение углового положения относительно горизонтальной плоскости и направления на север. Одним из самых известных устройств, используемых для определения углового положения объекта относительно направления на магнитный север, является магнитный компас. В этой работе будет рассмотрен современный электронный компас, основанный на трёхосных МЭМС акселерометре и магнетометре.

Through geographic coordinate, the orientation and navigation of the object are used to determine the position of an object on the Earth's surface. The information about the orientation of the object in space is a fundamental task for the navigation of the object in the world [2]. The geographic coordinate system is understood as a task orientation determining the angular position relative to the horizontal plane and the direction of the north. One of the most popular devices used to determine the angular position of the object connected with the direction of magnetic north is a magnetic compass. In this work it will be considered as a modern electronic compass based on triaxial MEMS accelerometer and magnetometer.

Ориентация объекта в географической системе координат описывается тремя углами Эйлера-Крылова: Ψ - курс, θ - крен и γ -тангаж (рисунок 1). Эти три угла ориентации можно определять бесплатформенной системой ориентации (БСО), которая состоит из трёхосных МЭМС акселерометра MPU6050 и магнетометра HMC8553L (рисунок 2).

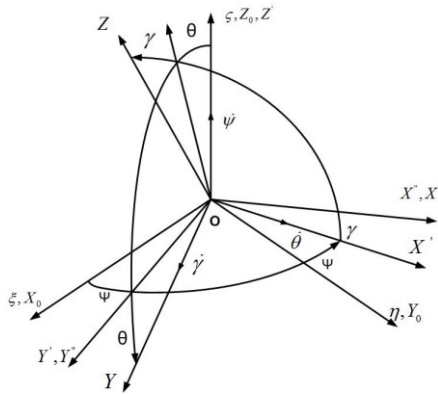


Рис. 1. Повороты на углы Эйлера-Крылова

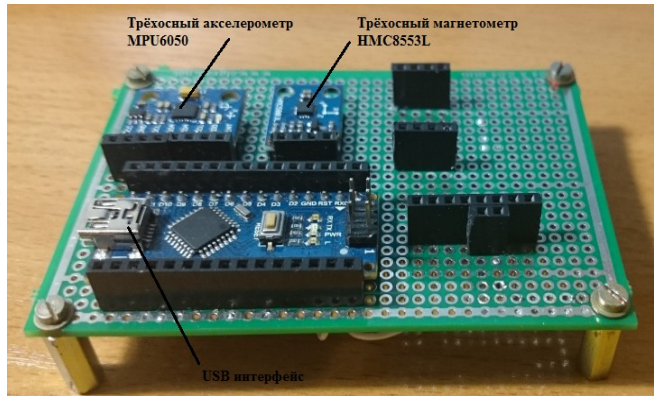


Рис. 2. БСО на основе трёхосных МЭМС акселерометра MPU6050 и магнетометра HMC8553L

Акселерометр чувствителен к линейному ускорению и местному гравитационному полю. В статическом положении на чувствительные оси акселерометра действует только сила гравитации Земли с ускорением свободного падения $+1g$. Проекция ускорения свободного падения на чувствительные оси акселерометров после последовательных поворотов выражены в формулах (2) и (3) [4]:

$$R \cdot \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ 1 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \cos \theta \cos \psi & \cos \theta \sin \psi & -\sin \theta \\ \cos \psi \sin \theta \sin \gamma - \cos \gamma \sin \psi & \sin \psi \sin \theta \sin \gamma + \cos \gamma \cos \psi & \cos \theta \sin \gamma \\ \cos \gamma \sin \theta \cos \psi + \sin \gamma \sin \psi & \cos \gamma \sin \theta \sin \psi - \cos \psi \sin \gamma & \cos \theta \cos \gamma \end{pmatrix} \cdot \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ 1 \end{pmatrix} \quad (2)$$

$$R \cdot \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ 1 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} -\sin \theta \\ \cos \theta \sin \gamma \\ \cos \theta \cos \gamma \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} A_x \\ A_y \\ A_z \end{pmatrix} \cdot \frac{1}{\sqrt{A_x^2 + A_y^2 + A_z^2}}, \quad (3)$$

где A_x , A_y , A_z - ускорения, измеренные акселерометрами. Из уравнения (3) углы крена γ и тангажа θ определяются выражениями (4) и (5):

$$\gamma = \arctg\left(\frac{A_y}{A_z}\right), \quad (4)$$

$$\theta = \arctg\left(\frac{-A_x}{\sqrt{A_y^2 + A_z^2}}\right), \quad (5)$$

После того, как углы крена θ и тангажа γ были рассчитаны, угол рыскания Ψ (рис. 3) вычисляется по формуле:

$$\psi = \arctg\left(\frac{H_y}{H_x}\right), \quad (6)$$

$$\begin{aligned} H_x &= T_x \cdot \cos \theta + T_z \cdot \sin \theta, \\ H_y &= T_x \cdot \sin \theta \cdot \sin \gamma + T_y \cdot \cos \gamma - T_z \cdot \sin \gamma \cdot \cos \theta, \end{aligned} \quad (7)$$

где T_x , T_y , T_z - магнитные компоненты вектора напряжённости магнитного поля Земли, измеренные магнетометром.

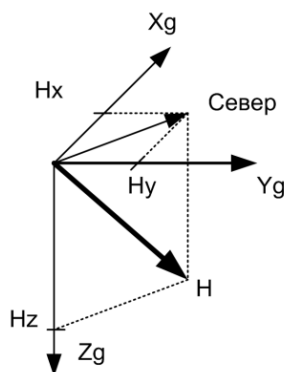


Рис. 3. Магнитное поле Земли

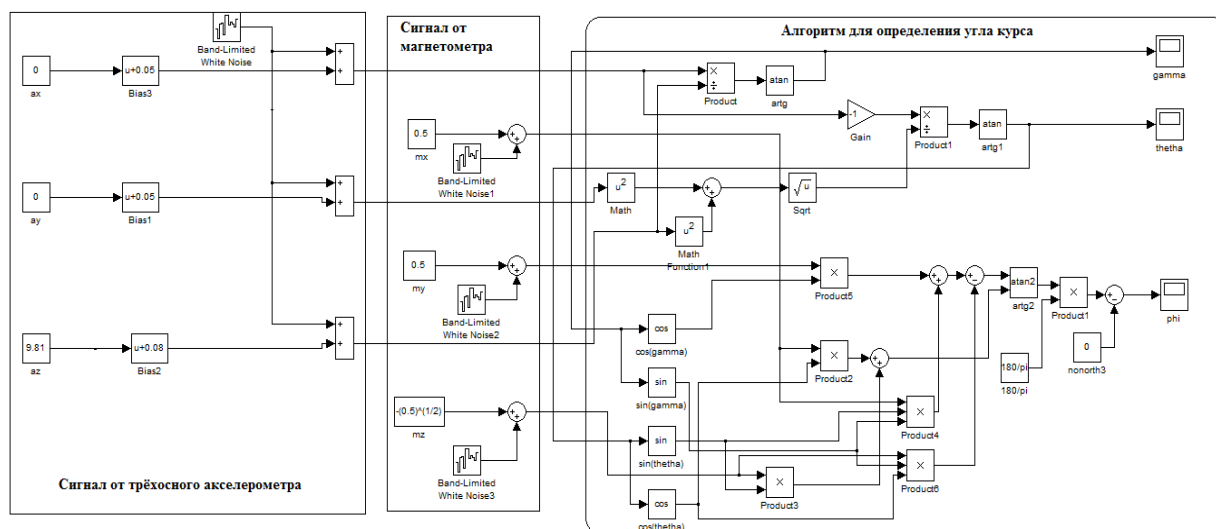


Рис. 4. Схема моделирования алгоритма определения углов ориентации в MATLAB

Схема моделирования уравнений (4), (5), (6) и (7) в пакете Simulink программы Matlab приведена в рисунке 4. В схеме отсутствуют средства оценки точности моделирования. Для устранения этого недостатка введена в схему разность истинного значения курса и сигнала на выходе алгоритма ориентации. Результаты и погрешности вычисления угла курса алгоритмом с заданными шумовыми и смещенными коэффициентами (таблица 1) показаны в рисунках 5, 6 и 7.

Таблица 1. Значения смещения нуля и уровня белого шума акселерометра и магнетометра [1, 3]

	Акселерометр MPU6050			Магнетометр HMC5883L		
	X	Y	Z	X	Y	Z
Смещение нуля	5mg	5mg	8mg	-	-	-
Белый шум	$400\mu\text{g}/\sqrt{\text{Hz}}$	$400\mu\text{g}/\sqrt{\text{Hz}}$	$400\mu\text{g}/\sqrt{\text{Hz}}$	2mGass	2 mGass	2 mGass

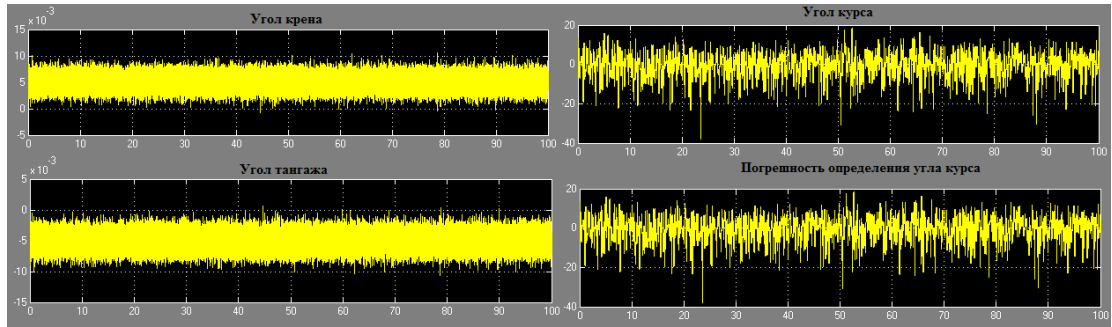


Рис. 5. Значение и погрешность измерения углов крена, тангажа и курса при повороте по курсу на 0 градусов

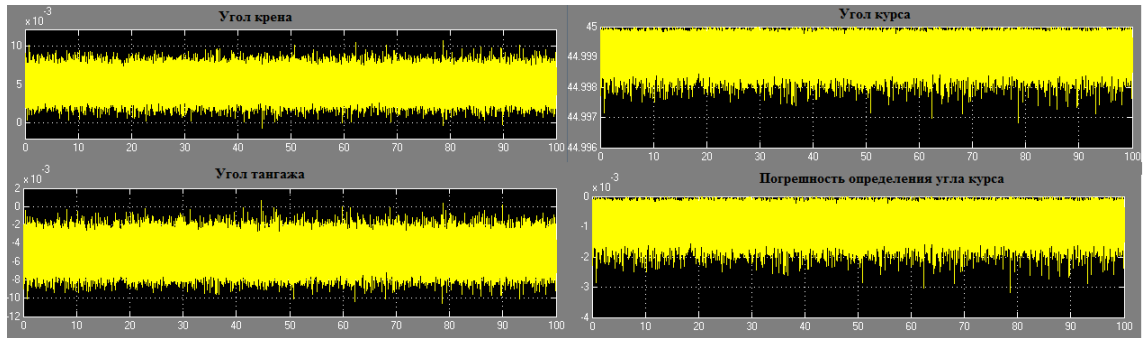


Рис. 6. Значение и погрешность измерения углов крена, тангажа и курса при повороте по курсу на 45 градусов

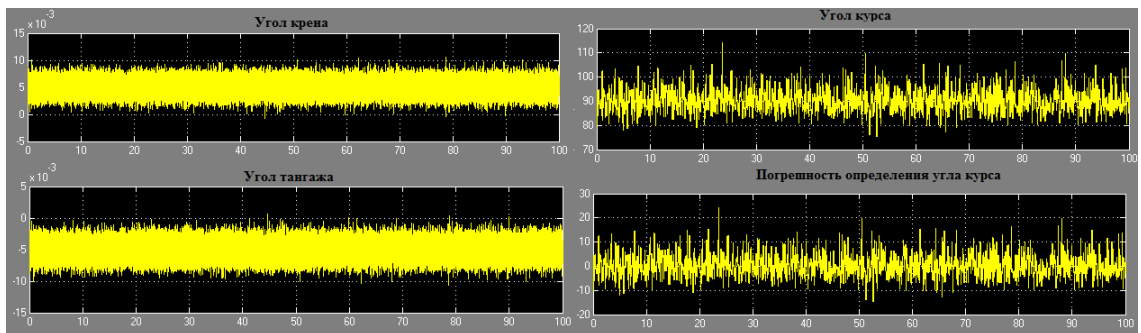


Рис. 7. Значение и погрешность измерения углов крена, тангажа и курса при повороте по курсу на 90 градусов

Заключение

Из рисунков 5, 6, 7 видно, что погрешность измерения акселерометром и магнетометром большая. Такая высокая погрешность вызывается основными причинами: смещением нуля и шумом датчиков. Для применения микроэлектромеханического акселерометра MPU6050 и магнетометра HMC8553L необходимо их калибровать и устранить влияние шума.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Honeywel. 3-Axis Digital Compass ICHMC5883L.-2013.-20с.
2. Курков Сергей. Прибор для определения положения тела в пространстве (North Seeking Device). - 2014. [Электронный ресурс]: <https://www.startbase.ru/projects/650/view/>.
3. InvenSense.MPU-6000 and MPU-6050 Product Specification.- 11/16/2011.-57с.
4. Mark Pedley.Tilt Sensing Using a Three-Axis Accelerometer.Rev. 6, 03/2013.-22с.

УНИВЕРСАЛЬНАЯ ИЗМЕРИТЕЛЬНАЯ СИСТЕМА АЭРОДИНАМИЧЕСКИХ И АЭРОУПРУГИХ ХАРАКТЕРИСТИК ДЛЯ ЛЕТНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

Павлов А.М., Арефьев А.Д., Зегжда И.С., Бурлуцкий С.Г., Фетисова Н.А.

Научный руководитель: Ковалев А.П., профессор, д.т.н.

Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения

Россия, г. Санкт-Петербург, ул. Большая Морская, 67, 190000

E-mail: sa807@bk.ru

UNIVERSAL MEASUREMENT SYSTEM OF AERODYNAMIC AND AEROELASTIC CHARACTERISTICS FOR IN-FLIGHT EXPERIMENTS

Pavlov A.M., Arefyev A.D., Zegjda I.S., Burluckiy S.G., Fetisova N.A.

Scientific Supervisor: Prof., Dr. Kovalev A.P.

Saint-Petersburg University of Aerospace Instrumentation

Russia, Saint-Petersburg, Bolschaya Morskaya, 67, 190000

E-mail: sa807@bk.ru

Перспективным направлением развития авиационной техники является создание атмосферных спутников – летательных аппаратов, способных совершать длительный полет (более месяца) на высотах более 20 000 метров. Важным отличительным преимуществом атмосферного спутника является возможность барражирования над заданным районом, что космический спутник, в силу особенностей своего движения, сделать не может. Создание атмосферного спутника является сложной задачей и требует комплексного подхода – когда аэродинамика, аэроупругость и системы управления взаимосвязаны. В рамках исследования вопросов аэродинамики, систем управления и аэроупругости подобных летательных аппаратов ведется разработка универсальной измерительной системы аэродинамических и аэроупругих характеристик предназначенной для летных испытаний дистанционно-управляемых моделей. В предлагаемой статье представлено описание этой системы, ее особенности и состав. А также приведены основные требования к ней.

One of the most promising direction of development of aviation is the creation of atmospheric satellites - aircrafts those are capable to fly for long time (over a month) and at altitudes of over 20,000 metres. In competence with space satellites, atmospheric satellites has an important distinctive advantage, the ability to patrol above a given area. Creation of an atmospheric satellite is a complex task that requires integrated approach, when aerodynamics, aeroelasticity and control systems are interrelated. For research of aerodynamics, control systems and aeroelasticity of such aircrafts, nowadays a universal measurement system of aerodynamic and aeroelastic characteristics for in-flight experiments of UAV is developing. The article presents a description of the system, its features, composition and general requirements.

Одним из перспективных направлений развития авиационной техники является создание высотных барражирующих летательных аппаратов, способных совершать полет на высотах 20 000 – 30 000 метров продолжительностью более месяца. Данные летательные аппараты, именуемые также атмосферными спутниками, предназначены для решения задач: аэрофотосъемки, ведение разведки полезных ископаемых, поиска терпящих бедствие судов, самолетов, групп людей [1]. Важным отличительным преимуществом атмосферного спутника является возможность барражирования над заданным районом, что космический спутник, в силу особенностей своего движения, сделать не может.