

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ТРЕХОСЕВОГО MEMS ГИРОСКОПА И АКСЕЛЕРОМЕТРА ДЛЯ ЗАДАЧ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПРОСТРАНСТВЕННОЙ ОРИЕНТАЦИИ ОБЪЕКТОВ

Москвичёв Д.В., студ.; Суков С.Ф., проф., к.т.н.

(ГОУВПО «Донецкий национальный технический университет», г. Донецк, ДНР)

Микроэлектромеханические (MEMS) датчики угловой скорости (гироскопы) и ускорения (акселерометры) представляют одно из активно развивающихся направлений микро системной техники. Под MEMS сенсорами понимают интегрированные системы с размерами от нескольких микрометров до нескольких миллиметров, которые объединяют в себе механические и электронные компоненты. Принцип работы таких датчиков основан на преобразовании в электрический сигнал дифференциальной емкости, образуемой подвижными и неподвижными микромеханическими пластинами гребенчатой формы. Изменение емкости под действием линейного ускорения (в акселерометрах) или силы Кориолиса (в гироскопах) позволяет оценить амплитудные значения указанных воздействий.

В данной статье будет рассмотрен такой МЭМС датчик как MPU 6050. Датчик этой модели был выбран, так как MPU 6050 - это недорогое и достаточно хорошее решение при необходимости использования гироскопа и / или акселерометра, большое количество настроек датчиков позволит настроить их под любые устройства, малые размеры модуля без труда позволят встраивать его в большинство схем. Ко всему перечисленному микросхема MPU6050 содержит на борту как акселерометр, так и гироскоп, а помимо этого еще и температурный сенсор. MPU6050 является главным элементом модуля GY-531. Помимо этой микросхемы на плате модуля расположена необходимая обвязка MPU6050, в том числе подтягивающие резисторы интерфейса I²C, а также стабилизатор напряжения на 3,3 вольта с малым падением напряжения (при питании уже в 3,3 вольта на выходе стабилизатора будет 3 ровно вольта) с фильтрующими конденсаторами. В дополнение к этому на плате распаян SMD светодиод с ограничивающим резистором как индикатор питающего напряжения.

Существует несколько разновидностей МЭМС гироскопов, различающихся внутренним устройством, но всех их объединяет то, что их работа основана на использовании силы Кориолиса. В каждом из них есть рабочее тело, совершающее возвратно-поступательные движения. Если вращать подложку, на которой находится это тело, то на него начнет действовать сила Кориолиса, направленная перпендикулярно оси вращения и направлению движения тела. На Рис. 1 представлен механизм работы этой силы.

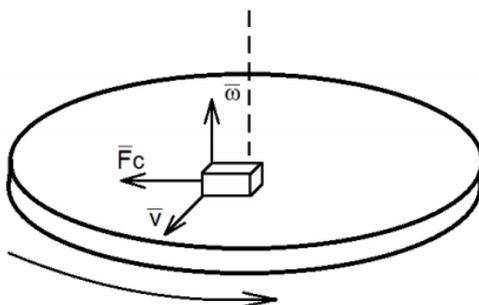


Рисунок 1 - Механизм работы силы Кориолиса: $\vec{\omega}$ – вектор угловой скорости, \vec{v} – вектор линейной скорости, \vec{F}_c – сила Кориолиса.

Зная линейную скорость и силу Кориолиса можно определить угловую скорость. Рассмотрим реализацию гироскопа MPU 6050: закрепленная на гибких подвесках рамка, внутри которой совершает поступательные колебательные движения некая масса. Структура такого сенсора представлена на Рис.2.

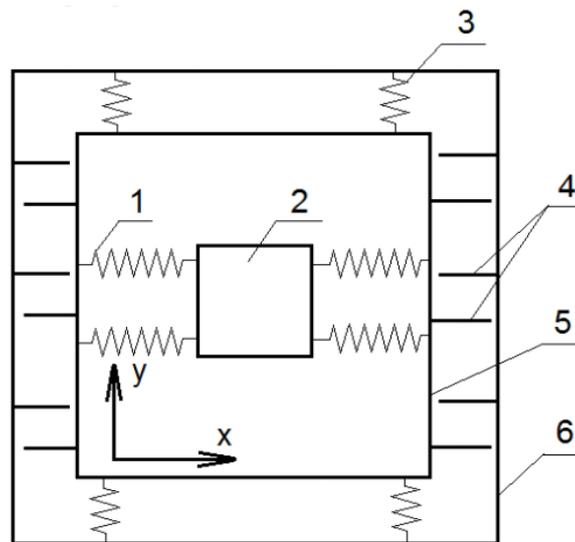


Рисунок 2 - Внутренняя структура гироскопа: 1 – крепление массы, 2 – рабочая масса, 3 – крепление внутренней рамки, 4 – сенсоры перемещения внутренней рамки, 5 – внутренняя рамка, 6 – подложка.

Колебания рабочей массы происходят вдоль оси X и генерируются электростатически, а колебания внутренней рамки возможны только вдоль оси Y. Между внутренней рамкой и подложкой расположены обкладки плоских конденсаторов (сенсоры перемещения), таким образом, измеряя их емкость, можно фиксировать движение рамки относительно подложки. Обе массы колеблются в противофазе, следовательно, в конкретный момент времени сила Кориолиса, действующая на первую массу, направлена противоположно силе, действующей на вторую. Сигналы, генерируемые силой Кориолиса, будут складываться, а синфазная составляющая, порожденная линейным ускорением, – вычитаться.

Модуль MPU 6050 был подключен к I2C модулю микроконтроллера Arduino Nano для отправки команд и считывания из регистров необходимых данных. После отправки модулю команды о начале измерений происходит постоянная оцифровка показаний со всех осей гироскопа, акселерометра и термодатчика. Остается только считывать байты из необходимых регистров. Частота записи новых данных в эти регистры аналогово-цифровым преобразователем зависит от выбранной пользователем чувствительности сенсора и, следовательно, диапазона измерений. Подключение датчика к микроконтроллеру осуществляется по интерфейсу I2C. Данный интерфейс обладает рядом особенностей: имеет архитектуру ведущий – ведомый, то есть одно устройство (ведущее) производит запрос на чтение или запись ведомых устройств. В нашем случае ведомым является MPU 6050, а ведущим I2C модуль, находящийся на микроконтроллере. Для связи используется две двунаправленные линии: тактирования и данных. Ведомое устройство имеет свой адрес, который на данной линии должен быть уникальным. Преимуществом этого интерфейса является возможность подключения большого количества ведомых устройств, а также сравнительно высокая дальность передачи данных. Но при увеличении дальности фактическая скорость передачи данных снижается. Это связано с тем, что фронты сглаживаются из-за увеличения емкости проводов.

Составной частью системы определения пространственного положения объекта, является передача координат с датчика на компьютер и визуализация этих данных с помощью библиотеки ToxicLibs на языке программирования Processing. В зависимости от предпочтений можно использовать различные способы визуализации или их комбинирования. Будет представлено два вида визуализации: в виде 3D объекта, который будет повторять положение данного датчика в пространстве (Рисунок 3), в виде отображения графика изменения координат по осям акселерометра (Рисунок 4) и показаний по осям гироскопа (Рисунок 5).

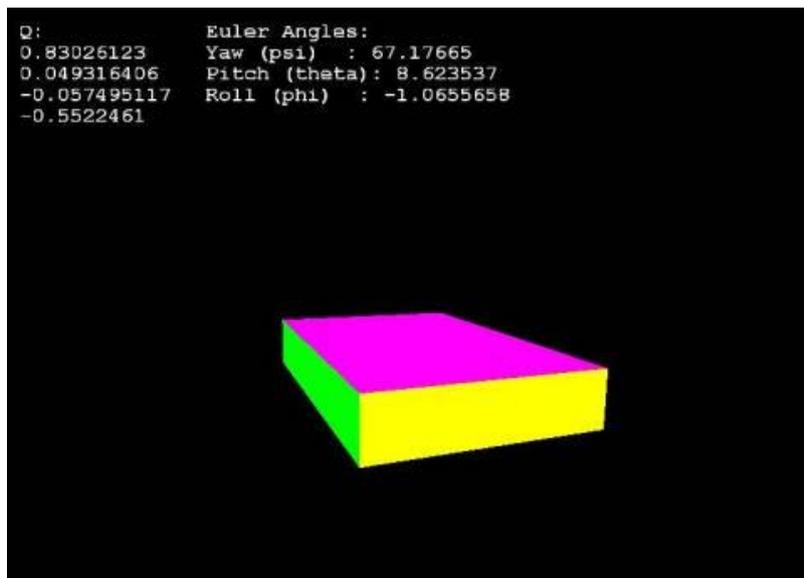


Рисунок 3 – 3D модель пространственного положения

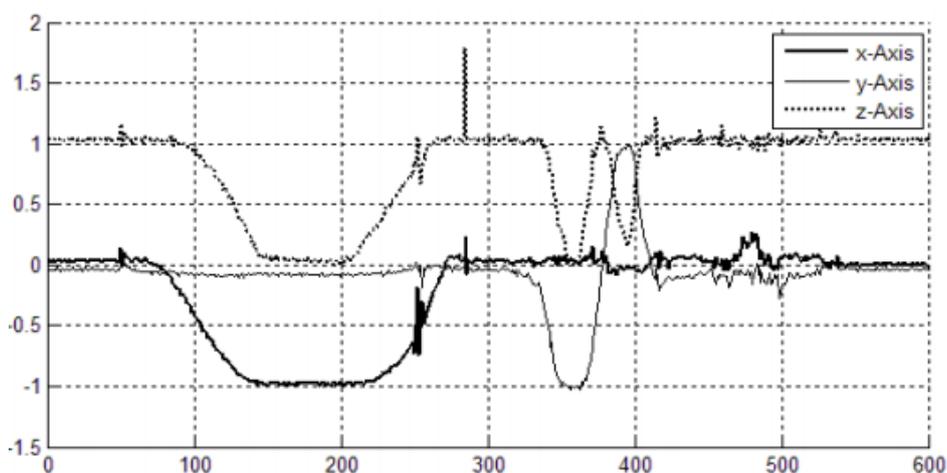


Рисунок 4 - Показания по осям акселерометра

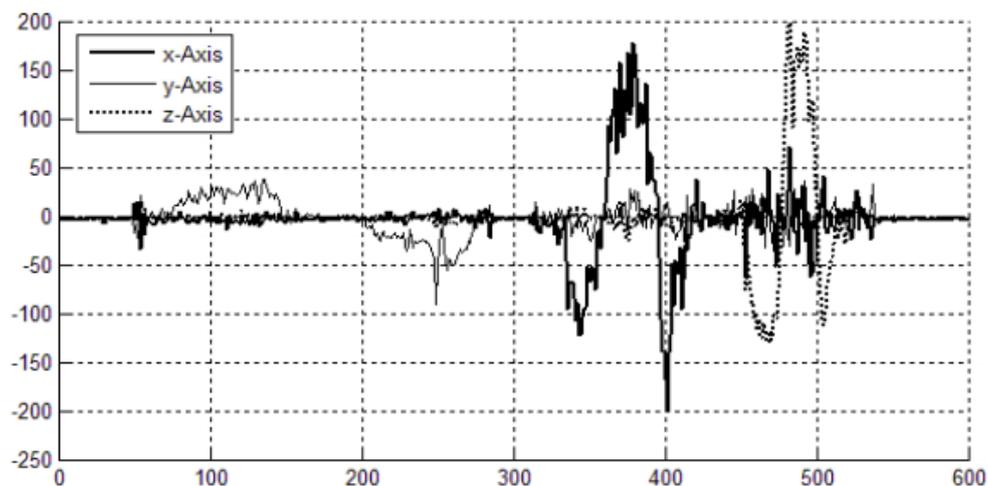


Рисунок 5 - Показания по осям гироскопа

Результаты представленные на Рисунках 4-5 говорят, как вследствие интегрирования происходило накопление ошибки, так называемый дрейф нуля: датчик находится в неподвижном состоянии, а значение угла увеличивается с одной и той же скоростью. Так же видно, что показания акселерометра зашумлены высокочастотной помехой, что приведет к

ошибкам при вычислении углов отклонения путем использования обратных тригонометрических функций. Чтобы повысить точность показаний и уменьшить статическую ошибку требуется использовать фильтр Себастьяна Маджвика. С помощью него компенсируется дрейф нуля гироскопа сглаживаются шумы.

Для введения фильтра в систему предлагает использовать одну из двух функций: MadgwickAHRSupdate или MadgwickAHRSupdateIMU, которые возвращают кватернион положения инклинометра в пространстве. Функции имеют вид:

MadgwickAHRSupdate(tdelta, gyr[X], gyr[Y], gyr[Z], acc[X], acc[Y], acc[Z], mag[X], mag[Y], mag[Z])

MadgwickAHRSupdateIMU(tdelta, gyr[X], gyr[Y], gyr[Z], acc[X], acc[Y], acc[Z]), где:

«tdelta» - добавленный мной аргумент - пройденное между итерациями время;

«gyr[X]» - показания гироскопа (пусть гироскопа) в рад/сек;

«acc[X]» - показания акселерометра в исходных единицах;

«mag[X]» - показания магнитометра в исходных единицах;

Преимущество данного фильтра, это дешевизна по вычислительным ресурсам — 277 простых арифметических операций каждое обновление фильтра. Таким образом мы получаем более точные значения при этом программный код остается максимально оптимизирован.

Так же существует иной способ получения оптимального по критерию минимума дисперсии ошибки линейную несмещенную оценку состояния линейной нестационарной дискретной системы, для этого понадобится калмановская фильтрация. Математическое описание оптимального фильтра Калмана, является сложным и требует увеличения вычислительных операций для реализации фильтра при увеличении порядка модели изменения данных. Поэтому был выбран фильтр Себастьяна Маджвика, который не только способствует оптимизации и увеличению быстродействия системы пространственной ориентации.

Таким образом, разработанные алгоритмы фильтрации и численного интегрирования сигналов трехосного MEMS гироскопа и акселерометра MPU6050 позволяют в заданном интервале времени успешно решать задачу определения пространственной ориентации вращающегося объекта с погрешностью не более 0,5...0,8°, а использование комплементарного фильтра для комплексирования углов, вычисляемых по данным от акселерометра и гироскопа, обеспечивает компенсацию ошибок интегрирования для углов крена и тангажа.

Перечень ссылок

1. МЭМС-гироскопы – единство выбора <http://www.electronics.ru/journal/article/512>
2. Распопов В.Я. Микромеханические приборы. – М.: Машиностроение, 2007.
3. MPU-6000 and MPU-6050 Product Specification Revision 3.4
4. Матвеев В.В., Распопов В.Я. Основы построения платформенных инерциальных навигационных систем
5. AHRS алгоритм Себастьяна Маджвика (Sebastian Madgwick) http://www.poprobot.ru/home/madgwick_ahrs