

УДК 629.054

Испытания и результаты экспериментальных замеров инерциального измерительного модуля ADIS16488

Абрамянц А.Э., студент

*Россия, 105005, г. Москва, МГТУ им. Н.Э. Баумана,
кафедра «Системы автоматического управления летательными аппаратами»*

Научный руководитель: Лукьянов В.В., к.т.н.

*Россия, 105005, г. Москва, МГТУ им. Н.Э. Баумана
iul@bmstu.ru*

Измерительный модуль ADIS16488 от компании Analog Devices представляет собой блок чувствительных элементов, выполненных по технологии MEMS (MicroElectroMechanical Systems). С появлением этой технологии микромеханические чувствительные элементы, такие как гироскопы, акселерометры, магнитометры, получили широкое распространение в системах ориентации и навигации. К достоинствам микромеханических гироскопов и акселерометров можно отнести малые габариты и низкую цену [2].

ADIS16488 включает в себя:

- трехосевой гироскоп, диапазон $\pm 450^\circ/\text{с}$
- трехосевой акселерометр, диапазон $\pm 18\text{ g}$
- трехосевой магнитометр, $\pm 2.5\text{ Гс}$
- датчик давления, от 300 мбар до 1100 мбар
- встроенный датчик температуры
- максимальная частота измерений равна 2460 Гц



Рис. 1. Внешний вид ADIS16488

На рис. 1 приведен внешний вид устройства. Модуль имеет возможность работать в интегрирующем режиме, т.е. есть возможность получать в качестве выходных данных приращение угла поворота и приращение линейной скорости.

Для проведения измерений и легкой настройки устройства с использованием компьютера используется дополнительный модуль (Evaluation Kit), который включает в себя программное обеспечение и плату с usb-разъемом (рис. 2), к которой крепится сам ADIS16488.



Рис. 2. ADIS16488 Evaluation Kit

Данное измерительное устройство будет использовано для организации БИНС, осуществляющей навигацию автономного автомобиля-робота, поэтому вывод данных будет осуществляться через находящийся на самом устройстве SPI-разъем. Для организации чтения поступающих данных без использования компьютера планируется создание программы в среде LabView на языке программирования G. Программа впоследствии будет перенесена на ПЛИС-контроллер от компании National Instruments.

Несмотря на наличие в документации данных о таких погрешностях, как дрейф нуля, масштабный фактор, температурный дрейф, нелинейность и др., всегда существуют погрешности, некомпенсированные при заводской калибровке. Эти факторы необходимо учитывать для обеспечения точной и качественной инерциальной навигации [1]. С целью определения наличия таких некомпенсированных параметров были проведены испытания БЧЭ ADIS16488.

Единицы измерения данных: время – секунды, для гироскопа проекции угловой скорости на оси X,Y,Z - $^{\circ}/с$, для акселерометра проекции линейного ускорения на оси X,Y,Z – g.

В первом экспериментальном замере ADIS16488 находился в состоянии покоя и лежал на горизонтальном столе. Съём данных проводился в течение часа на малой частоте (~ 125 Гц). Ввиду большого количества данных и наличия шума, полученные результаты были усреднены (усреднение каждые 2000 значений) в специально написанной для этого программе на языке C++ с помощью [3]. Усреднение результатов позволило построить

графики показаний гироскопа и акселерометра в зависимости от времени с гораздо меньшим шумом, что облегчает их восприятие. Далее представлены графики показаний гироскопа по осям X, Y, Z (рис. 3) и графики показаний акселерометра по тем же осям (рис. 4).

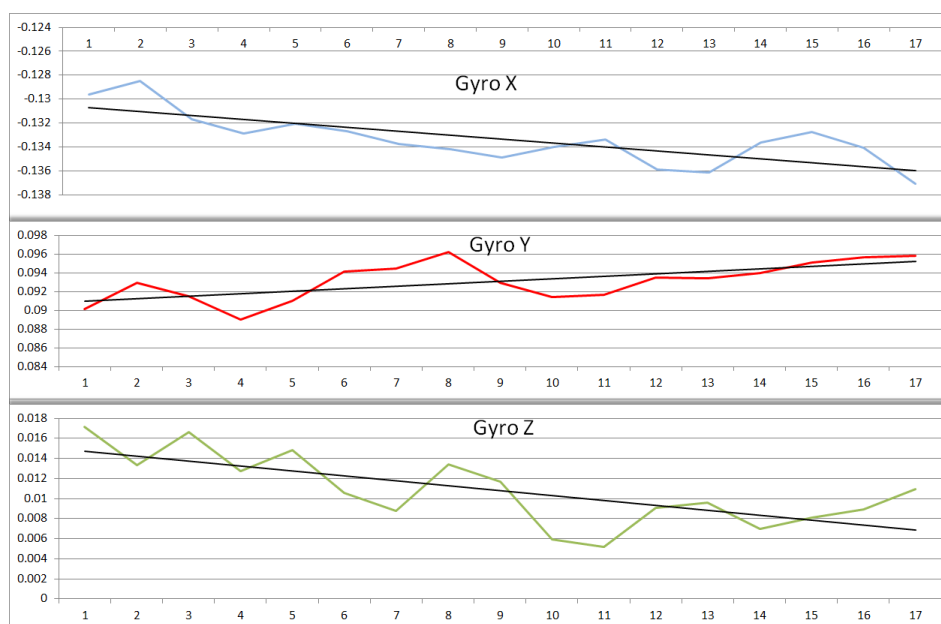


Рис. 3. Показания гироскопа в часовом замере

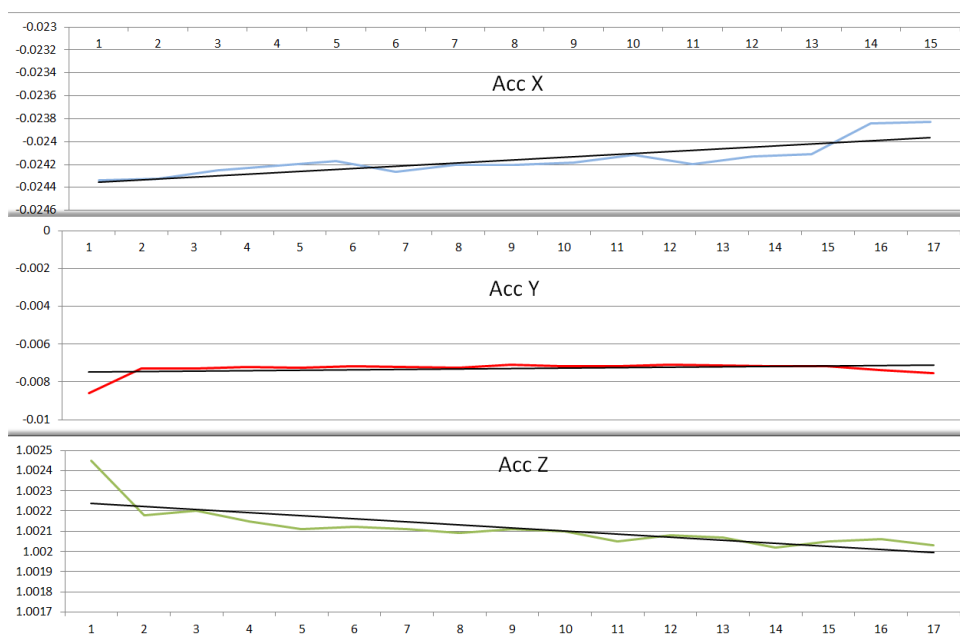


Рис. 4. Показания акселерометра в часовом замере

Как видно по линиям тренда, наблюдается уход показаний чувствительных элементов от начальных значений. В первую очередь, это связано с вращением Земли, что сказывается на длительной работе (например, в течение часа, как в данном замере). Кроме

того, эти отклонения также связаны с влиянием температуры (температурный дрейф) и наличием масштабного фактора (scale factor).

В теории чувствительный элемент не должен быть подвержен влиянию линейных ускорений, и у него не должно быть перекрестных связей с другими осями чувствительности. Но вследствие неидеальной структуры ЧЭ колебания инерционной массы МЭМС-элемента по одной оси вносят искажения на другую ось.

Еще одним фактором, влияющим на точность навигационной системы, является т.н. дрейф (смещение) нуля, то есть появление приращения угловой скорости, которой на самом деле нет. Дрейф нуля может быть как постоянным, так и иметь случайный характер. Так как в условиях проведения эксперимента была невозможна точная выставка в горизонт, то гироскоп имел некоторые изначальные значения угла наклона. В ходе эксперимента было проведено три последовательных запуска, один за другим, каждое измерение длилось 5 минут. Графики на рисунках 5 и 6 показывают смещение на примере значений, измеряемых гироскопом по оси Z и акселерометром по оси Y.

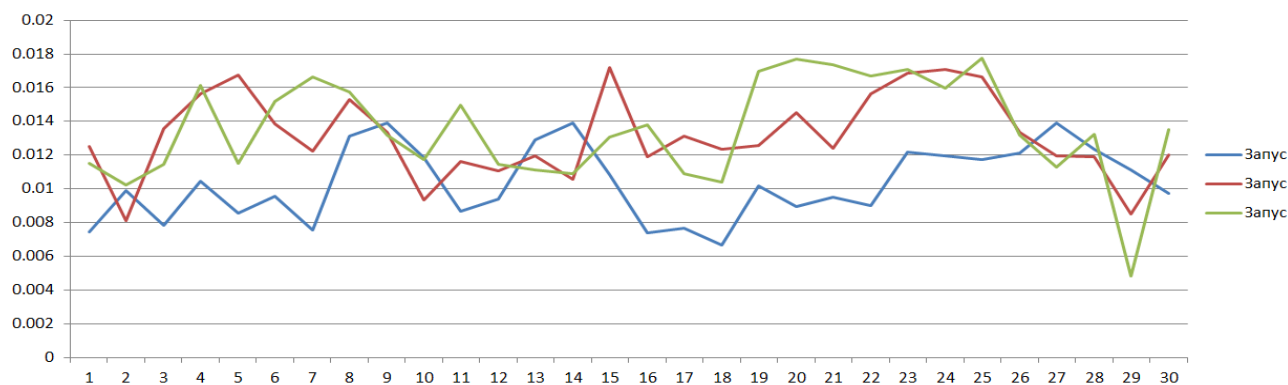


Рис. 5. Дрейф нуля гироскопа

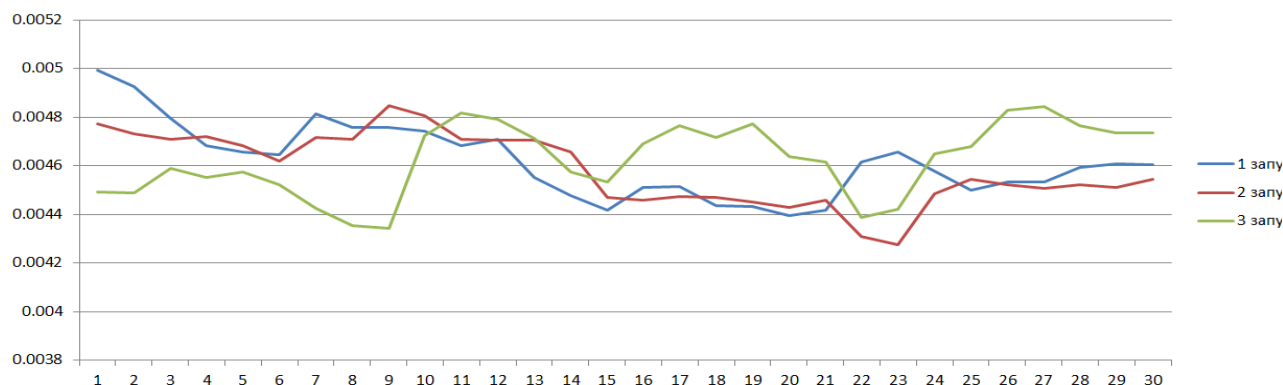


Рис. 6. Дрейф нуля акселерометра

Благодаря уменьшенному после обработки шуму, нетрудно заметить, что графики показаний от запуска к запуску незначительно смещаются относительно друг друга по вертикали.

Проведенные замеры говорят лишь о наличии погрешностей в целом, но для отделения систематической погрешности от случайной необходимо провести гораздо больше измерений.

Помимо наличия трёхосных гироскопа и акселерометра, преимуществом ADIS16488 является наличие трехосного магнетометра и барометра.

При проведении экспериментальных замеров показания барометра колебались в пределах 998 – 1002 мбар. Переводя эти результаты в другие единицы измерения, получаем, что измеренное давление соответствует 0,985 – 0,988 атм (атмосфер физических). Пониженное атмосферное давление объясняется тем, что замеры проводились на 6 этаже Главного Здания МГТУ им. Н.Э. Баумана. Следовательно, можно сделать следующий вывод: по измеренному с помощью БЧЭ ADIS16488 давлению можно находить значение текущей высоты объекта, на котором установлен блок, что позволяет избегать применения дополнительного оборудования. Благодаря этому уменьшаются габариты и стоимость навигационной системы. При этом не стоит забывать о невысокой точности прибора и в случае необходимости точного определения высоты пользоваться дополнительными устройствами повышенной точности.

Трёхосевой магнитометр в свою очередь может использоваться для оценки курса и компенсации смещения нуля гироскопа. В данной модели IMU магнитометр имеет относительно низкие показатели шума в статическом положении, что может пригодиться при начальной выставке объекта в алгоритме БИНС. Разница в шуме видна на следующем примере. На рисунке 7 изображен график показаний магнитометра по оси X, а на рисунке 8 – график показаний акселерометра по аналогичной оси. Для наглядности использованы «сырые», не усреднённые данные. Замеры проводились в статичном положении на горизонтальном столе. Масштаб осей графиков одинаковый.

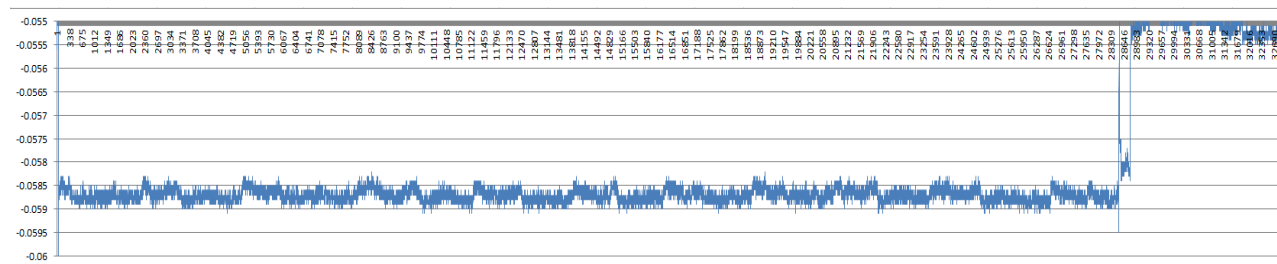


Рис. 7. Показания магнитометра по оси X в статике

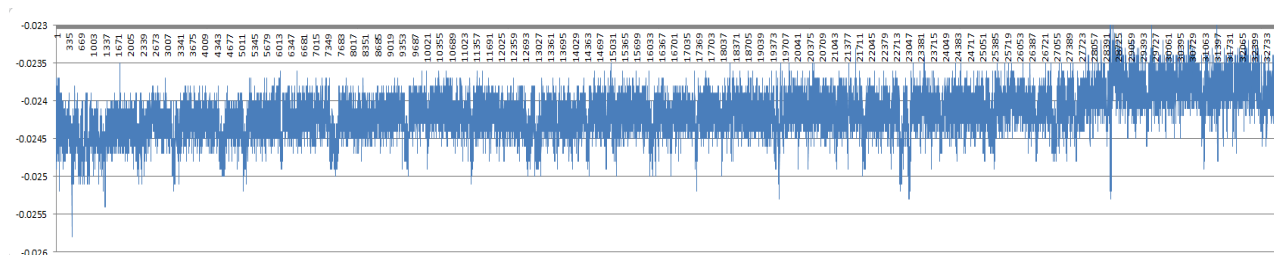


Рис. 8. Показания акселерометра по оси X в статике

Следующим этапом испытаний ADIS16488 стала проверка способности «чувствовать Землю», то есть фиксировать угловое вращение Земли. Микромеханические измерительные модули в настоящее время имеют слишком малую чувствительность, поэтому их относят к приборам низкой точности. Однако некоторые компании-производители заявили о выпуске микромеханических устройств, близких к приборам средней точности. Это означает, что их чувствительность составляет порядка нескольких десятых градуса в час ($0.3 - 0.5 \text{ }^\circ/\text{ч}$). Этой точности должно быть достаточно для фиксирования угловой скорости вращения Земли (устройства средней точности обладают чувствительностью $0.1 \text{ }^\circ/\text{ч}$ [2]).

Для сравнения результатов испытывались два БЧЭ: ADIS16488 и STIM300 компании Sensorog. Компанией Sensorog было заявлено, что STIM300 имеет чувствительность $0.22 \text{ }^\circ/\text{ч}$ и близок к приборам средней точности.

Для проведения замеров был создан аналог поворотного стола, на котором окружность была разделена на «румбы» по градусам: от 0° до 360° с шагом в 30° . На каждый «румб» устанавливался ADIS, далее в течение пары минут проводились замеры, затем датчик переставляли на следующий румб. Так как блок не имел собственной скорости, находясь на румбе, то его угловое движение было связано только с угловым движением Земли. Тогда, проецируя вектор угловой скорости на оси чувствительности гироскопа X и Y, получаем, что эти проекции равны соответственно $U \cdot \cos(\varphi)$ и $U \cdot \sin(\varphi)$, где $U = 15 \text{ }^\circ/\text{ч}$ – угловая скорость вращения Земли, φ – широта [1]. Теоретически результирующие графики угловой скорости по осям X и Y должны иметь вид, схожий с косинусоидой. Графический результат замеров показан на рисунке 9.

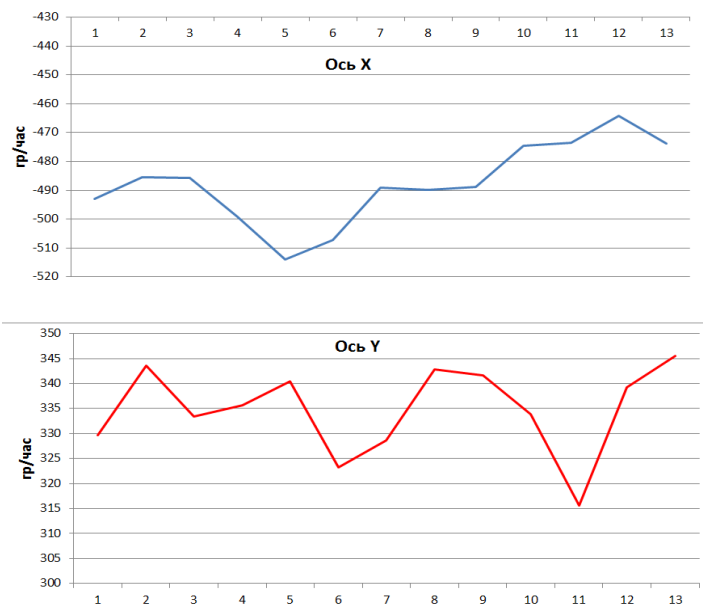
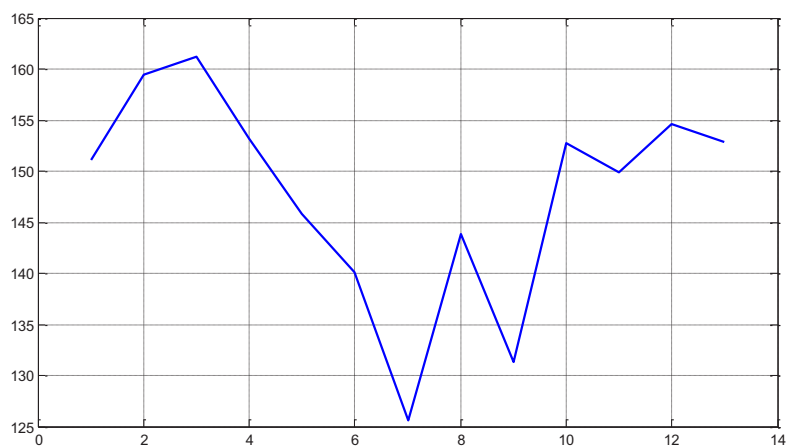


Рис. 9. Измерение проекций $U \cdot \cos(\varphi)$ и $U \cdot \sin(\varphi)$ для ADIS16488

Аналогичные испытательные замеры были проведены и с БЧЭ STIM300. Результирующие графики для этого датчика приведены на рисунке 10.

GX (°/ч):



GY (°/ч):

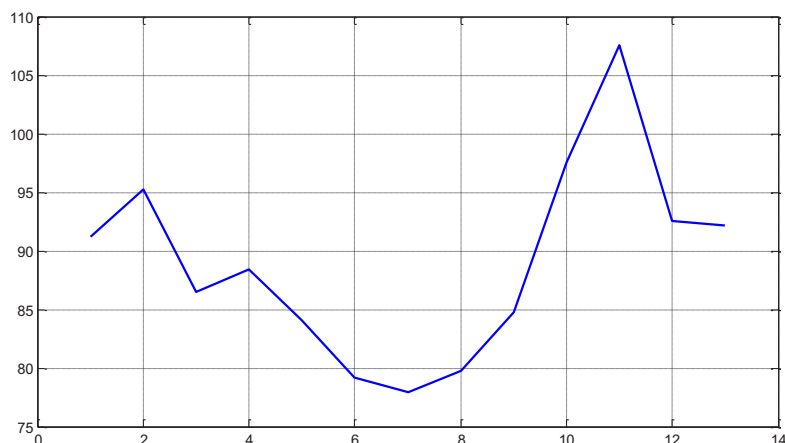


Рис. 10. Измерение проекций $U \cdot \cos(\varphi)$ и $U \cdot \sin(\varphi)$ для STIM300

При сравнении результатов ADIS16488 и STIM300 видно, что поведение графиков последнего в целом приближено к косинусоиду, в то время как графики ADIS16488 не имеют значимого вида. Это означает, что ADIS16488 не обладает достаточной чувствительностью для фиксирования вращений с маленькой угловой скоростью. Этот факт оправдывается относительно низкой ценой устройства. Для сравнения, стоимость STIM300 превышает цену ADIS16488 в 10 раз.

Подводя итоги испытаний, можно сделать следующие выводы:

- Несовершенство конструкции микромеханического датчика требует жесткой фиксации на виброизолированном основании во избежание появления сильных шумов, затрудняющих считывание данных.
- Необходимо учитывать некомпенсированный дрейф (уход) устройства.
- Низкая чувствительность ADIS16488 не позволяет использовать его как полностью самостоятельное, отдельное устройство в реальных БИНС, в которых возможно очень малое изменение угла поворота. Для фиксирования малых поворотов рекомендуется использовать более чувствительные измерительные модули.
- Несмотря на это, ADIS16488 вполне пригоден как для любительских проектов, так и для серьезных задач, не требующих прецизионных устройств в составе.

Список литературы

1. Salychev O.S. Applied Inertial Navigation: Problems and Solutions, Moscow: Bauman MSTU Press, 2004. 302 p.

2. Salychev O.S. MEMS-based Inertial Navigation: Expectations and Reality, Moscow: Bauman MSTU Press, 2012. 208 p.
3. Страуструп Б. Язык программирования C++. Спец. изд. М: Бином-пресс, 2001. 1136 стр. [B. Stroustrup. The C++ Programming Language (Special Edition). Addison Wesley, 2000. 1030 p.]